

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E VETERINÁRIAS
CAMPUS DE JABOTICABAL**

**DESEMPENHO OPERACIONAL NA COLHEITA
MECANIZADA DE MILHO PARA SILAGEM: ESTUDO DE
CASO**

Aline Spaggiari Alcântara

Engenheira Agrônoma

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E VETERINÁRIAS
CAMPUS DE JABOTICABAL**

**DESEMPENHO OPERACIONAL NA COLHEITA
MECANIZADA DE MILHO PARA SILAGEM: ESTUDO DE
CASO**

Aline Spaggiari Alcântara

**Orientador: Prof. Dr. Carlos Eduardo Angeli Furlani
Co-orientador: Prof. Dr. Rouverson Pereira da Silva
Prof. Dr. Afonso Lopes**

Tese apresentada à Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias – UNESP, Campus de Jaboticabal, como parte das exigências para a obtenção do título de Mestre em Agronomia (Ciência do Solo).

Alcântara, Aline Spaggiari
A347d Desempenho operacional na colheita mecanizada de milho para silagem:
Estudo de caso / Aline Spaggiari Alcântara. -- Jaboticabal, 2021
123 p. : il. tabs., fotos, mapas

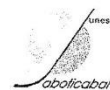
Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista (Unesp), Faculdade de
Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal,
Orientador: Carlos Eduardo Angeli Furlani
Coorientador: Afonso Lopes, Rouverson Pereira da Silva

1. Eficiência Operacional. 2. Ensiladora. 3. Forragem. 4. Forrageira. 5.
Controle estatístico. 6. Multivariada. I. Título. III. Jaboticabal-Faculdade de
Ciências Agrárias e Veterinárias.



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA

Câmpus de Jaboticabal



CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO DA TESE: DESEMPENHO OPERACIONAL NA COLHEITA MECANIZADA DE MILHO PARA SILAGEM: ESTUDO DE CASO

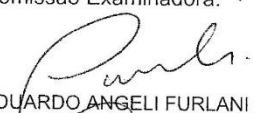
AUTORA: ALINE SPAGGIARI ALCÂNTARA

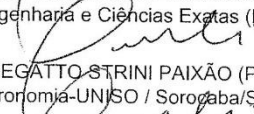
ORIENTADOR: CARLOS EDUARDO ANGELI FURLANI

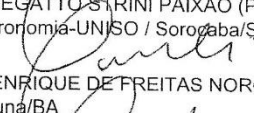
COORIENTADOR: AFONSO LOPES

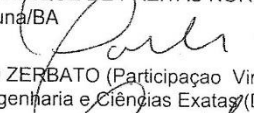
COORIENTADOR: ROVERSON PEREIRA DA SILVA

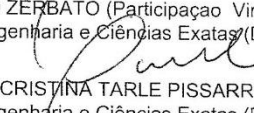
Aprovada como parte das exigências para obtenção do Título de Doutora em AGRONOMIA (CIÊNCIA DO SOLO), pela Comissão Examinadora:


Prof. Dr. CARLOS EDUARDO ANGELI FURLANI (Participação Virtual)
Departamento de Engenharia e Ciências Exatas (DECEX) / FCAV / UNESP - Jaboticabal


Profa. Dra. CARLA SEGATTO STRINI PAIXÃO (Participação Virtual)
Departamento de Agronomia-UNISO / Sorocaba/SP


Prof. Dr. RAFAEL HENRIQUE DE FREITAS NORONHA (Participação Virtual)
CFCTA/UFSB / Itabuna/BA


Prof. Dr. CRISTIANO ZERBATO (Participação Virtual)
Departamento de Engenharia e Ciências Exatas (DECEX) / FCAV / UNESP - Jaboticabal


Profa. Dra. TERESA CRISTINA TARLE PISSARRA (Participação Virtual)
Departamento de Engenharia e Ciências Exatas (DECEX) / FCAV / UNESP - Jaboticabal

Jaboticabal, 04 de maio de 2021

DADOS CURRICULARES DO AUTOR

ALINE SPAGGIARI ALCÂNTARA - Nascida no município de São Joaquim da Barra, Estado de São Paulo, aos 12 dias do mês de janeiro do ano de 1991 e registrado no cartório de Orlândia-SP como filha de Lidomério Ferreira de Alcântara e Ângela Maria Spaggiari Alcântara. Reside desde seu nascimento na cidade de Orlândia-SP. Coursou o Ensino Fundamental em Escolas Municipais e Estaduais e Ensino Médio em Escola Cooperativa e Particular do município de Orlândia, concluindo estes em dezembro de 2008. Em fevereiro de 2010 iniciou o curso de Engenharia Agrônoma pela Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias de Jaboticabal-SP (FCAV/UNESP), concluindo-o em dezembro de 2014, recebendo o grau de Engenheiro Agrônomo em 13 de março de 2015. Durante a graduação participou de trabalhos, eventos culturais, do Grupo Integração Empresa-Universidade (GIEU), da organização de palestras e eventos científicos, fez estágio extracurricular no setor de Nematologia, e no Laboratório de Máquinas e Mecanização Agrícola (LAMMA), situados no Departamento de Fitopatologia e Departamento de Engenharia e Ciências Exatas, respectivamente, da FCAV/UNESP. Fez estágio curricular na Empresa Gravena/SGS, na cidade de Jaboticabal-SP. Em agosto de 2015, iniciou o curso de Mestrado em Agronomia (Programa Ciência do Solo) no departamento de Engenharia e Ciências Exatas sob orientação do Professor Carlos Eduardo Angeli Furlani na FCAV/UNESP com término em julho de 2017. Em seguida, em agosto de 2017, iniciou o curso de Doutorado em Agronomia (Programa Ciência do Solo) como bolsista do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPQ) na FCAV/UNESP.

“Ninguém é digno do sucesso se não usar seus fracassos e suas derrotas para conquistá-lo.”

Augusto Cury

Dedico e ofereço à Deus que guarda e protege a mim e minha família,
e aos meus pais Lidomério Ferreira de Alcântara
e Ângela Maria Spaggiari de Alcântara,
por todo o apoio nesta caminhada.

AGRADECIMENTOS

À Deus, a Quem guia minha jornada e segue sendo minha eterna fonte de força e gratidão.

À minha mãe Angela Maria Spaggiari Alcântara, ao meu pai Lidomério Ferreira de Alcântara, à minha irmã Mariana Spaggiari Alcântara Ravagnani e meu cunhado Christopher de Abreu Ravagnani pelo carinho, suporte e incentivo incondicionais à minha formação acadêmica e pessoal. Aos meus avós Eldina Lemes Spaggiari e Aristides Spaggiari e meu tio Amauri José Spaggiari os quais tenho muito carinho sempre estiveram de prontidão para me ajudar e apoiar.

À Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias (FCAV-UNESP), campus de Jaboticabal onde me graduei. Ao Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, pela oportunidade e conhecimentos adquiridos no mestrado e doutorado. Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPQ) pela oportunidade e bolsa concedida do Doutorado.

Ao meu orientador Professor Doutor Carlos Eduardo Angeli Furlani, professor do Departamento de Engenharia e Ciências Exatas da FCAV-UNESP, pela amizade, confiança e atenção, pelos conhecimentos transmitidos e por todo apoio durante minha caminhada da graduação ao doutorado.

As minhas amigas Lais Dezem Durigan, Maria Letícia Pacheco, Vanessa Fabíola, Stefany Souza, Adryelle Moreira Barcelar, Lígia Negri Correa, Franciele Morlin Carneiro.

Aos meus colegas e amigos do Laboratório de Máquinas e Mecanização Agrícola (LAMMA), Franciele Morlin Carneiro, Danilo Tedesco Oliveira, Samira Luns Hatum de

Almeida, Letícia Bernabé Santos, Mailson Freire de Oliveira, Rafael de Graaf Correa, Marcelo Rodrigues Barbosa Júnior, Adão Felipe dos Santos, Alex Rangel Gonzaga, Jean Lucas Pereira Oliveira, Lígia Negri Corrêa, Jarlyson Brunno Costa Souza, Luan Pereira de Oliveira, Antonio Tassio Santana Ormond, Elizabeth Haruna Kazama, Renata Fernandes de Queiroz, Lucas Augusto Da Silva Gírio, Tiago Tavares de Oliveira, Patrícia Cândida de Menezes, Rafael Noronha, André Damasceno, Francisca Edcarla de Araujo Nicolau, Francisca Nivanda de Lima Estevam, por todos ensinamentos, pelo suporte, apoio, amizade e ajuda sempre de forma incondicional. Os estudos a noite, os experimentos infundáveis contribuíram para meu crescimento. Tenho por vocês grande admiração. À todos os estagiários do laboratório que me ajudaram, sem vocês não teria conseguido.

Aos Professores Doutores Rouverson Pereira da Silva, Cristiano Zerbato e Afonso Lopes, pelas sugestões, contribuição na Tese, além da ajuda e orientações nos procedimentos técnicos e científicos do trabalho e durante toda minha jornada.

À todos os funcionários do Departamento de Engenharia e Ciências Exatas, em especial ao Uanderson, Maranhão, Tiãozinho e Nascimento por toda a ajuda. A Fazenda de Ensino, Pesquisa e Extensão (FEPE) e funcionários pela área concedida para experimento.

Aos membros da Banca Examinadora por terem aceitado o convite para compor a banca e contribuir no enriquecimento do trabalho com sua sabedoria.

À todos aqueles que, embora não nomeados, direta ou indiretamente me ajudaram de alguma maneira.

O meu sincero MUITO OBRIGADA!

Sumário

DESEMPENHO OPERACIONAL NA COLHEITA MECANIZADA DE MILHO PARA SILAGEM: ESTUDO DE CASO	iv
RESUMO.....	iv
OPERATIONAL PERFORMANCE IN CORN SILAGE MECHANIZED HARVEST: CASE STUDY	v
ABSTRACT	v
CAPÍTULO 1 – CONSIDERAÇÕES GERAIS.....	1
1. INTRODUÇÃO.....	1
2. OBJETIVOS.....	3
3. REVISÃO DE LITERATURA.....	4
3.1. A produção de milho silagem no Brasil.....	4
3.2. A colheita mecanizada de milho silagem e a interferência do maquinário.....	6
3.3. Ensiladoras montadas no sistema hidráulico de três pontos (SHTP)	8
3.4. Ensiladoras propelidas ou colhedoras autopropelidas.....	9
3.5. Tamanho de partículas	10
3.6. Perdas na colheita mecanizada de milho silagem	11
3.7. Altura do corte	12
3.8. Controle estatístico de processo.....	14
3.9. Análise de componentes principais (ACP).....	16
4. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	17
CAPÍTULO 2 –COLHEITA MECANIZADA DE MILHO SILAGEM EM FUNÇÃO DAS ENSILADORAS – ESTUDO DE CASO	25
RESUMO.....	25
ABSTRACT	25
1. Introdução.....	26
2. Material e Métodos	28
2.1. Área experimental.....	28
2.2. Equipamentos.....	29
2.3. Caracterização da Produtividade	31
2.4. Desempenho Operacional	32
2.5. Análise de Perdas na colheita	36

2.6. Análise tamanho de partícula colhida	37
2.7. Delineamento Experimental	38
2.8. Análise estatística	39
3. Resultados	39
3.1. Desempenho Operacional	39
3.2. Análise de perdas na colheita	47
4. Discussão	50
4.1. Desempenho Operacional	51
4.2. Análise de perdas na colheita	55
5. Conclusões	58
Agradecimentos	58
MATERIAL SUPLEMENTAR	59
6. Referências bibliográficas	60
CAPÍTULO 3 – COLHEITA MECANIZADA DE MILHO PARA SILAGEM COM ENSILADORA PROPELIDA	64
RESUMO	64
ABSTRACT	64
1. INTRODUÇÃO	65
2. MATERIAL E MÉTODOS	67
2.1. Área experimental	67
2.2. Caracterização da Produtividade	68
2.3. Delineamento Experimental	69
2.4. Equipamentos	70
2.5. Desempenho Operacional	71
2.6. Análise de Perdas na colheita	74
2.7. Análise estatística	75
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO	76
3.1. Desempenho Operacional	76
3.2. Perdas na Colheita	79
4. CONCLUSÕES	83
Agradecimentos	83
MATERIAL SUPLEMENTAR	84

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	84
CAPÍTULO 4 – ANÁLISE MULTIVARIADA EM PERDAS NA COLHEITA MECANIZADA DE MILHO PARA SILAGEM COM ENSILADORA PROPELIDA	88
Resumo	88
Abstract	88
1. INTRODUÇÃO.....	89
2. MATERIAL E MÉTODOS	91
2.1. Área experimental.....	91
2.2. Caracterização da Produtividade	93
2.3. Equipamentos.....	93
2.4. Análise de Perdas na colheita	94
2.5. Análise do tamanho de partícula colhida	96
2.6. Delineamento experimental e Análise Estatística	97
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO	99
4. CONCLUSÕES.....	105
Agradecimentos	105
5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	106
MATERIAL SUPLEMENTAR.....	109
CAPÍTULO 5 – CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	111

DESEMPENHO OPERACIONAL NA COLHEITA MECANIZADA DE MILHO PARA SILAGEM: ESTUDO DE CASO

RESUMO

A qualidade da operação colheita mecanizada de milho para silagem varia em função da máquina utilizada, do gerenciamento da frota dessa forma, para melhorar o desempenho operacional é necessário monitorar e entender o funcionamento e possíveis falhas da operação, para posteriormente tomar decisões na colheita de forma a diminuir perdas e atrasos na operação. Assim sendo, o estudo dividiu-se em três experimentos, sendo o primeiro experimento objetivou-se avaliar a eficiência e a qualidade da colheita mecanizada de silagem de milho, em função do desempenho operacional e da análise de perdas, utilizando para isso três ensiladoras montadas no SHTP com regulagens de tamanho de partícula diferentes (E1, E2 e E3), a fim de identificar as falhas e contribuir positivamente para o processo. O segundo experimento objetivou monitorar a frota da colheita mecanizada de milho para silagem, utilizando uma ensiladora autopropelida em função das áreas e quantificar as perdas da colheita. O terceiro experimento objetivou correlacionar as variáveis da colheita com as variáveis de perdas da silagem para colheita mecanizada de milho. Os experimentos foram conduzidos em áreas da Fazenda de Ensino Pesquisa e Extensão (FEPE) da UNESP de Jaboticabal-SP. O delineamento estatístico do experimento 1 e 2, foi baseado no controle estatístico de processo, utilizando como ferramenta as cartas de controle de valores individuais. Os indicadores de qualidade analisados foram: Capacidade de campo efetiva; Capacidade de campo operacional; Tempo de manobra; Eficiência de colheita; Eficiência de gestão; Tempo de inatividade. O delineamento do terceiro experimento foi em faixas, e utilizou a técnica de análise de componentes principais (ACP) da análise exploratória multivariada utilizando variáveis da colheita e variáveis de perdas na colheita mecanizada da silagem. As conclusões para o experimento 1: A escolha da ensiladora dependerá da estratégia de colheita que se deseja adotar, porém a E3 mostrou-se a mais eficiente para a operação quando avaliado o conjunto das variáveis deste estudo considerando a colheitabilidade (consumo de combustível por hora, área, e quantidade colhida, capacidade efetiva e operacional, eficiência, custo por hora e perdas). O aumento da velocidade beneficiou a eficiência da E3 sendo viável trabalhar em maiores velocidades. No entanto, o treinamento dos operadores, bem como manutenção e regulagens diárias do maquinário é essencial para não prejudicar o desempenho das ensiladoras e qualidade do material colhido. O número de vagões foi o fator mais prejudicial a eficiência das ensiladoras. Vale ressaltar a importância do dimensionamento adequado das ensiladoras e número de transbordos ou vagões antes do início da colheita para melhor desempenho da ensiladoras. A sistematização da área colhida é fundamental para diminuir as perdas em campo de ensiladoras montadas. Para o experimento 2: A produtividade diferente das áreas influenciou nos resultados. O aumento da velocidade da colhedora foi benéfico na operação de colheita mecanizada de milho para silagem utilizando uma colhedora autopropelida. Porém é necessário adequar o dimensionamento da frota de caminhões para transporte da silagem. Experimento 3: A ACP indicou que perdas de colmo e de partículas vegetais estão relacionadas com a velocidade de colheita e a produtividade. A velocidade do vento e a temperatura não tiveram correlação com as perdas na colheita mecanizada de milho para silagem.

PALAVRAS - CHAVE: Eficiência Operacional; Ensiladora; Forragem; Controle estatístico; Análise multivariada.

OPERATIONAL PERFORMANCE IN CORN SILAGE MECHANIZED HARVEST: CASE STUDY

ABSTRACT

The quality of the mechanized corn harvesting operation for silage varies depending on the machine used, the management of the fleet in this way, to improve operational performance, it is necessary to monitor and understand the operation and possible failures of the operation, in order to subsequently make decisions in the harvest. to reduce losses and delays in the operation. Therefore, the study was divided into three experiments, and the first experiment aimed to evaluate the efficiency and quality of mechanized harvesting of corn silage, as a function of operational performance and loss analysis, using three pull-type corn silage harvesters with different particle size settings (E1, E2 e E3) in order to identify faults and contribute positively to the process. The second experiment aimed to monitor the fleet of mechanized corn harvesting for silage, using a self-propelled forage machine depending on the areas and to quantify the harvest losses. The third experiment aimed to correlate harvest variables with silage loss variables for mechanized corn harvesting. The experiments were carried out in areas of the Farm of Teaching, Research and Extension (FEPE) of UNESP in Jaboticabal-SP. The statistical design of experiment 1 and 2 was based on statistical process control, using individual value control charts as a tool. The quality indicators analyzed were: Effective field capacity; Operational field capability; Turnaround time; Harvest efficiency; Management efficiency; Downtime. The design of the third experiment was in strips, and used the technique of principal component analysis (PCA) of exploratory multivariate analysis using harvest variables and loss variables in mechanized silage harvesting. The conclusions for experiment 1: The choice of the pull-type corn silage harvester will depend on the harvesting strategy you want to adopt, but E3 proved to be the most efficient for the operation when evaluating the set of variables in this study considering harvestability (fuel consumption per hour, area, and quantity harvested, effective and operational capacity, efficiency, cost per hour and losses). The increase in speed benefited the efficiency of the E3 making it feasible to work at higher speeds. However, the training of operators, as well as the maintenance and daily adjustments of the machinery is essential in order not to harm the performance of the forage harvesters and the quality of the harvested material. The number of wagons was the most detrimental factor to the efficiency of the forage harvesters. It is worth emphasizing the importance of proper sizing of forage harvesters and the number of overflows or wagons before harvesting begins for better performance of the forage harvesters. The systematization of the harvested area is essential to reduce field losses of assembled forage harvesters. For experiment 2: The different productivity of the areas influenced the results. The increase in the speed of the harvester was beneficial in the operation of mechanized harvesting of corn for silage using a self-propelled harvester. However, it is necessary to adjust the dimensioning of the truck fleet to transport the silage. Experiment 3: PCA indicated that stalk and plant particle losses are related to harvest speed and productivity. Wind speed and temperature did not correlate with losses in mechanized corn harvesting for silage.

KEYWORDS: Operational efficiency; Forage Harvester; Forage; Statistical control; Multivariate analysis.

CAPÍTULO 1 – CONSIDERAÇÕES GERAIS

1. INTRODUÇÃO

A utilização do milho silagem é uma importante estratégia para alimentação de bovinos em regiões com períodos de baixa produtividade de pastagens ou como complemento alimentar, sendo esta uma das principais fontes de alimentação de bovinos no Brasil. No entanto, é sabido que quanto maiores as perdas no processo, maior também é o custo final da silagem. Em vista disto, dois fatores são fundamentais na colheita: a umidade e o modelo da ensiladora que será utilizada.

A umidade é descontada da matéria fresca, resultando em matéria seca (MS), tanto muito baixa quanto muito alta irá influenciar negativamente na qualidade da silagem. Nesse sentido, quando a umidade se encontra elevada ocorre maiores perdas de efluentes e propagação de microrganismos indesejáveis, maior custo de armazenagem e menor proporção de grãos ocorrem quando a umidade se encontra elevada (Muck et al., 2003). Em contrapartida, teores de umidade abaixo do ideal, ocorre redução do teor de carboidratos solúveis, alto teor de lignina, além de comprometer processo de picagem e compactação. O teor de MS recomendado varia entre 30 e 35% (Nussio, 1991), o que oferece condições ótimas para fermentação e conservação da silagem.

Quanto aos modelos de ensiladoras, vale ressaltar que os principais modelos de ensiladoras utilizados no Brasil são: as ensiladoras montada nos engates do sistema hidráulico de três pontos (SHTP) do trator, as quais dependem das linhas de semeadura das culturas bem definidas, e as ensiladoras propelidas que independem da presença das linhas.

Estudos constataram que as ensiladoras propelidas terceirizadas, transbordos e tratores compactadores são responsáveis por um terço do custo total na produção de silagem durante a colheita e a ensilagem, segundo alguns estudos.

Há vários estudos que englobam a qualidade da silagem produzida, no entanto, para uma colheita de silagem de milho eficiente também é fundamental boa condução do processo como um todo, seguindo as etapas de corte, transporte, descarga, compactação e vedação do silo. Desta forma, produz-se uma silagem com boa fermentação para usar por longo período (Neumann et al., 2017).

Cumprе esclarecer, que são vários os fatores que influenciam na quantidade de silagem perdida durante a colheita como: habilidade do operador, topografia do terreno, distribuição das linhas no campo, umidade do solo, altura e estrutura das plantas, mecanismos de recolhimento e picagem da máquina, além da deriva de material picado que não alcança o transbordo, em função da velocidade do vento e do tombamento de plantas principalmente quando o operador não é hábil.

Desta feita, o controle estatístico de processo (CEP) se adapta ao sistema de produção agrícola atuando na correção e eliminação de desperdícios e falhas, redução de custos e no aumento da produtividade (Bonilla, 1994). Assim, o emprego do CEP é uma alternativa para avaliar e/ou monitorar a qualidade de operações agrícolas mecanizadas com aplicações de suas ferramentas em diversas culturas como algodão (Kazama et al., 2018), amendoim (Santos et al., 2019) e café (Tavares et al., 2018) entre outras, porém, pouco se sabe sobre a colheita mecanizada de milho silagem.

A utilização dessas ferramentas junto as técnicas de análise exploratórias multivariadas para controle de operações agrícolas mecanizadas podem ser aliadas no monitoramento de operações agrícolas. Desse modo, é possível que com o estudo do processo de colheita

mecanizada de silagem de milho haja melhor eficiência de trabalho, diminuição das perdas e, conseqüentemente, redução dos custos de produção.

Vale ressaltar que, apesar do Brasil ter o maior rebanho bovino e estar entre os maiores produtores de carne bovina e leite do mundo, a produtividade de litros/ cabeça/ dia ainda é baixa quando comparada aos demais países. Assim sendo, é necessário estudos aprofundados sobre as operações mecanizadas da produção de silagem com o intuito de colaborar com o desenvolvimento desta atividade importante na alimentação dos bovinos, a fim de aumentar a produtividade por cabeça no país.

Neste contexto, a importância de estudar e monitorar as frotas da operação de colheita mecanizada de milho silagem, bem como quantificar perdas de silagem, através das ferramentas do CEP e análise multivariada, visa detectar e corrigir possíveis falhas, com a finalidade de minimizá-las e evitar queda de produtividade.

2. OBJETIVOS

1. Objetivou-se avaliar a eficiência e a qualidade da colheita mecanizada de silagem de milho, em função do desempenho operacional e da análise de perdas, utilizando para isso três ensiladoras montadas no SHTP com regulagens de tamanho de partícula diferentes, a fim de identificar as falhas e contribuir positivamente para o processo.
2. Objetivou-se monitorar a frota da colheita mecanizada de milho para silagem, utilizando-se uma ensiladora autopropelida, bem como quantificar as perdas da colheita mecanizada.
3. Objetivou-se analisar as inter-relações entre as variáveis da colheita mecanizada de milho silagem (produtividade, velocidade do vento, velocidade da colhedora com as perdas de

tamanho de partículas da silagem de milho e as perdas de colmos de milho pela altura do corte).e explicar essas variáveis em termos de suas dimensões inerentes comuns (fatores).

3. REVISÃO DE LITERATURA

3.1. A produção de milho silagem no Brasil

A silagem de milho é a principal fonte de alimento utilizada na dieta de vacas leiteiras brasileiras de alta produção (Bernardes e Do Rêgo, 2014) e contribui com energia e fibra para o gado leiteiro (Ferraretto et al., 2015), principalmente em épocas que as condições climáticas dificultam a produção de forragem (Resende et al. 2017). A silagem também tem sido muito utilizada em sistemas produtivos com confinamentos, atividade crescente entre os pecuaristas brasileiros (Gomes et al., 2015).

A estimativa da produtividade de silagem de milho varia entre 25,5 e 37,05 toneladas por hectare segundo os dados de Jobim, Branco e Santos (2020), com massa de grãos média esperada de 6,4 toneladas por hectare (IEA, 2020). Segundo dados da CONAB (2020), o consumo interno de silagem de milho teve aumento de 4,5% para a safra de milho de 2020/21, devido ao bom desempenho do setor de proteína animal brasileiro no mercado exportador em 2021.

No entanto, apesar do Brasil possuir alto potencial para desenvolvimento tecnológico no setor pecuário de corte e leiteiro, com sistemas de produção em regiões distintas, nem sempre os rendimentos são satisfatórios, sendo à resistência em utilizar a tecnologia de ensilagem pelos técnicos ou produtores, o maior gargalo para o lento desenvolvimento do setor (Krüger, 2012).

A ensilagem é uma técnica que consiste na preservação das forragens após o corte, compactação e vedação em silos, onde ocorre fermentação anaeróbia pela ação de

microrganismos sobre os açúcares presentes nas plantas com a produção de ácidos orgânicos e redução do pH para valores próximos de 4, tendo como resultado a silagem (SILVA, 2001).

O valor nutritivo da silagem de milho depende de um conjunto de fatores, que são a escolha do híbrido para o plantio, densidade da cultura, condições de crescimento, grau de maturidade e umidade da cultura quando colhida, e as próprias condições de ensilagem (Satter e Reis, 2012).

Desta forma, o consumo da silagem pelo animal e a resposta do animal ao alimento dependem da fermentação do material ensilado, pois ela tem influência sobre a composição química, ingestão e a digestibilidade da silagem (Krizsam e Randby, 2007).

As forragens colhidas adequadamente e com bom processamento podem reduzir custos, aumentar a produção de leite, os sólidos do leite e a saúde de vacas leiteiras (Neumann et al., 2017), além de contribuir para maior competitividade de fazendas produtoras de leite com outros setores do agronegócio. Fato importante a ser considerado é que para cada situação existe um tipo adequado de colheita e maquinários.

Além disso, o teor e o processamento do amido são fatores determinantes da qualidade nutricional da silagem, pois afetam a síntese de proteína microbiana no rúmen, o fluxo de energia para o animal, a produção de leite e de sólidos do leite. Silagem de alto valor nutritivo têm baixo teor de fibra em detergente ácido (FDA) ($< 45\%$ da matéria seca) e fibra em detergente neutro (FDN) de alta digestibilidade no trato digestivo total ($> 40\%$ da FDN consumida) (Velho et al., 2006).

Em razão da dieta de vacas leiteiras de alta produção ser constituída por 25 a 35% de amido, fica evidente que a melhora na eficiência de utilização do amido representa real importância na produção de leite (Jobim, Branco e Santos, 2003).

Outros fatores físicos da silagem como o tamanho médio de partículas e densidade de massa específica também tem influência na sua qualidade relacionados ao próprio processo de fermentação e conservação do material ensilado porque a densidade seca determina porosidade da silagem, que vai influenciar na taxa de aeração e preservação do material ensilado (Jobim et al., 2007).

3.2. A colheita mecanizada de milho silagem e a interferência do maquinário

Durante a colheita ocorrem perdas que muitas vezes não são consideradas pelos produtores e que podem comprometer a viabilidade da produção de silagem em muitas fazendas (Gomides, 2013; Santos, Moraes e Nussio, 2017).

A eficiência de colheita busca amenizar algumas dessas perdas. A tomada de decisões antes e durante a colheita interferem diretamente na eficiência da ensilagem tais como: definição do ponto de colheita e altura de corte, necessidade de máquinas e equipamentos para realização do corte, do transporte e da compactação, regulagem e manutenção dos equipamentos (ajuste do tamanho de partículas), velocidade de deslocamento do conjunto mecanizado (trator + ensiladora) para minimizar perdas de forragem no campo por deriva (Gomides, 2013).

É sabido que quanto mais próxima a maturidade do milho, suas frações fibrosas da forrageira se tornam menos digestíveis (Silva e Queiroz, 2002). Então o atraso na colheita do milho para silagem pode proporcionar hastes e folhas com maior fração indigestível. Além disso, o alto teor de matéria seca da planta dificulta o corte em partículas de tamanho homogêneo, exigindo máquinas e equipamentos mais potentes e bem ajustados, fato que eleva as perdas no corte por meio da deriva durante o transporte e aumenta a perda de grãos nas fezes devido a maior quantidade de grãos íntegros e menor digestibilidade destes pelo animal (Bernardes e Weinberg, 2013).

A capacidade da colhedora em cortar materiais vegetais, de acordo com Prasad e Gupta (1975), depende de vários fatores, os quais são classificados em intrínsecos e extrínsecos. Os fatores intrínsecos têm relação à colhedora, isto é, são aquelas relacionadas às suas dimensões construtivas, dispositivos de corte, as regulagens etc. Os fatores extrínsecos são relacionados às condições de operação como quantidade de massa a ser cortada, taxa de alimentação ao material a ser cortado (idade das plantas, espécies vegetais etc.).

Outros exemplos de fatores intrínsecos que interferem na exigência de força para o corte são as regulagens do equipamento, como afiações regulares da lâmina, a distância entre a lâmina estática, as lâminas do rotor de corte, estas últimas quando não conferidas promovem acréscimo em exigência de força, devido ao aparecimento de outras forças de ruptura, além do cisalhamento, como dilaceramento (Bernardes e Do Rêgo, 2014). Assim sendo, para alcançar os tamanhos adequados dos fragmentos, os fatores intrínsecos à colhedora de forragem, como as regulagens utilizadas, merecem mais atenção.

Contudo, o sucesso da utilização dos equipamentos está na qualificação e conscientização da mão de obra operacional, pois a regulagem e a manutenção destes equipamentos (como por exemplo, o ajuste e afiamento do conjunto faca e contra faca, duas vezes ao dia), dependem do treinamento e grau de comprometimento dos operadores, sendo tarefas imprescindíveis para à confecção de uma silagem adequada (Gomides, 2013).

De acordo com Daniel et al. (2011), o gasto com maquinários durante a colheita, transporte e armazenamento, representa mais de 20% do custo total da silagem. Entretanto, o cálculo da quantidade de carretas, tratores e colhedoras de forragem necessários para o processo de ensilagem, não é uma questão bem discutida pelos pesquisadores.

Ainda, segundo Daniel et al. (2011), com base no cálculo de carretas, isto é, transbordos, é possível planejar quantas carretas e tratores são necessários para se evitar a paralisação da

colheita e aumentar a eficiência de utilização dos maquinários diminuindo o tempo de descarregamento e de viagem da carreta.

Desta forma, para o sistema de produção funcionar perfeitamente devemos manter o processo contínuo e com qualidade, que pressupõe de planejamento, organização e coordenação das atividades, objetivando promover a obtenção de altos rendimentos, com economia de recursos naturais renováveis e sem agredir o meio ambiente (Neumann et al., 2011). Em outras palavras, é necessário monitorar e estudar as operações, para posteriormente, gerenciar com autonomia reduzindo falhas, perdas e custos.

3.3. Ensiladoras montadas no sistema hidráulico de três pontos (SHTP)

As ensiladoras montadas são compostas de mecanismos de alimentação responsáveis pelo recolhimento do material e pela taxa de alimentação da máquina. Os rolos recolhedores cortam e recolhem o produto, conduzindo-o ao rotor picador, este, por sua vez, pica o produto e lança-o para fora através da bica de descarga (saída). Conforme o modelo da máquina, diferentes tamanhos de picado podem ser obtidos, de acordo com o par de engrenagens utilizados e o número de facas no rotor picador (Nogueira, 2019).

O conjunto de lâminas rotativas, presentes no mecanismo de corte e recolhimento, fragmenta o material, e a força centrífuga arremessa este para fora da câmara de corte (Rippel et al., 1998).

O rotor de corte da máquina é dotado de lâminas e entre elas podem conter lançadores. As regulagens da máquina são alteradas pela relação de engrenagens e/ou pelo afastamento angular entre as lâminas (número de lâminas), o que permite trabalhar com diferentes comprimentos teóricos de fragmento (Garbuio et al., 2008b).

A velocidade de marcha das ensiladoras dependerá do tipo e do estado da cultura a ser colhida, assim como, da potência disponível. Quanto mais baixa ou rala estiver a cultura, com

maior rapidez a máquina deverá deslocar-se para que o sistema de alimentação funcione corretamente (Nogueira, 2019).

3.4. Ensiladoras propelidas ou colhedoras autopropelidas

No processamento da silagem de milho objetiva-se obter alta efetividade da fibra (Fibra longa < 20% de partículas no Fundo do Separador de Partículas da Penn State) e alta digestibilidade do amido (Grãos processados < 10 grãos intactos/500 g de silagem), plausível de se obter com colhedoras autopropelidas (Hülse et al., 2020). Contudo, a maioria das fazendas brasileiras ainda depende de colhedoras tracionadas por trator, pois existem várias limitações operacionais para utilizar colhedoras autopropelidas, especialmente nas fazendas produtoras de leite (Bernardes e Do Rêgo, 2014).

Dentre as limitações operacionais temos a gestão da semeadura e previsão de chegada da colhedora na fazenda, disponibilidade de colhedoras para colher áreas pequenas, logística para o rateio do custo do frete para o transporte da colhedora, topografia acidentada, presença de árvores nas áreas de cultivo, capacidade de fluxo de máquinas na fazenda, capacidade de descarga e compactação da massa ensilada, e outras (Bernardes e Do Rêgo, 2014).

Algumas máquinas que utilizam rolos que promovem um segundo tipo de processamento do material, sendo este por esforço axial de compressão. Este processo adicional na forragem, após esta ser cortada pelas lâminas, tem por objetivo melhorar a fragmentação do grão, aumentando consequentemente o aproveitamento pelo animal (Garbuió, 2008a). Estes rolos podem ser denominados de picador de grãos.

A colheita do milho silagem com colhedoras autopropelidas com rolos processadores (em boas condições de manutenção) pode aumentar o grau de processamento dos grãos da forragem e reduzir o impacto da presença da matriz proteica (prolaminas) que envolve os grânulos de amido, além de determinar o acesso de amilases de origem microbiana e do animal

ao substrato, afetando a digestibilidade do amido no rúmen e no trato digestivo total (Gomides, 2013).

3.5. Tamanho de partículas

As colhedoras de forragens comumente utilizadas nas propriedades rurais brasileiras, conforme Ferreira et al. (2001), apresentam três tipos de alternativas para estabelecer o tamanho do fragmento. O primeiro refere-se à relação de engrenagens sendo que a variação desta aumenta ou diminui a velocidade da entrada da forragem, consequentemente, reduzindo ou aumentando o tamanho do fragmento. A segunda alternativa é a remoção de facas do eixo do rotor de corte. O terceiro tipo é o de máquinas que permitem a combinação das duas alternativas anteriores, oferecendo uma gama maior de regulagens (Nogueira, 2019).

O tamanho de fragmento nos estádios de desenvolvimento da cultura foi classificado por Ferreira et al. (2001) que recomendaram fragmentos de 12 a 16 mm em teores menores que 28% de MS, 8 a 12 mm entre 30 e 37% de MS e 5 a 8 mm quando a silagem de planta inteira de milho for colhida com teores de MS acima de 37%. Estes autores salientam que quanto maior for o teor de MS, menor deve ser o tamanho de partícula, contribuindo para a compactação, a quebra de grãos e, consequentemente, maior valor nutritivo.

Desta feita, testando o tamanho de fragmento, Boever et al. (1993) verificaram que o consumo de MS foi alterado somente quando houve alteração do tamanho de fragmento de 4 para 16 mm, ocorrendo a redução do consumo com o aumento do fragmento, independentemente do uso ou não de rolos processadores. Estes mesmos autores correlacionaram ainda o tempo de mastigação com a maturidade da planta, verificaram que em teores mais elevados de MS foi gasto menos tempo de mastigação e concluíram que a maior participação de grãos foi a responsável.

Com o aumento do tamanho de fragmento de 0,6 para 2 cm, Neumann (2007) constatou redução na densidade de 40,10 kg de massa verde m^{-3} e 11,09 kg de massa seca m^{-3} . O menor tamanho da partícula facilitou o processo de ensilagem, uma vez que permitiu maior densidade no transporte do material colhido até o local de armazenamento, como também aumentou a eficiência do processo de compactação e permitiu melhor fermentação anaeróbia.

Desta forma, a escolha da ensiladora e o tipo de silagem dependerá do objetivo e do nível de inclusão da silagem na alimentação. Alguns autores (San Emeterio et al., 2000) também têm verificado que o grão laminado ou moídos finamente são mais bem aproveitados por vacas em lactação.

3.6. Perdas na colheita mecanizada de milho silagem

Existem estudos de perdas durante o processo de ensilagem que delimitam a quantidade de silagem perdida, quais sejam: perdas por gases que variam em torno de 1 a 10% e perdas físicas em condições normais de campo que são de 21 a 34%, sendo que quando ocorre furos na lona, infiltração de água e rachadura nas paredes, essas perdas podem chegar a 70% (Carvalho e Jobim, 2013).

No entanto, no tocante as perdas na operação de colheita, de desempenho operacional e de silagem, estas precisam ser mais bem estudadas, tendo como finalidade contribuir para uma operação mais eficiente, diminuindo custos e desperdícios. Pois sabe-se que o processo da colheita ao transporte quando malconduzido, pode resultar em prejuízo significativo, por causa das perdas, ainda que a produtividade da cultura tenha sido adequada. (Mialhe, 1984; Srivastava et al., 1993).

Assim sendo, as perdas na colheita mecanizada de silagem podem ocorrer: na altura de corte dos colmos, deixando colmos maiores que 20 a 30 cm no solo, de material vegetal que

não foi processado como folhas, colmos, restos de espiga ou sabugo, e até mesmo da planta inteira que foram deixados no campo por falhas na operação.

Ainda, existe perda da própria silagem que foi colhida, porém não alcançou o transbordo. Não se sabe ao certo o quanto é perdido nessa etapa de colheita, nem há uma metodologia de análise concretizada, por isso é importante realizar estudos para o desenvolvimento da melhor forma de analisar essas perdas na colheita de silagem.

3.7. Altura do corte

A altura de corte é outro critério que influencia na qualidade e quantidade de forragem colhida para ensilagem (Neumann et al., 2007). A busca por volumosos cada vez melhores, incitou a dúvida sobre a melhor altura de corte para aperfeiçoar a relação quantidade e qualidade. A elevação na altura de corte diminui a participação de folhas e principalmente de colmo na massa ensilada, conseqüentemente aumentando a proporção de grãos (Restle et al., 2002). As silagens produzidas nessa situação apresentam características bromatológicas mais favoráveis à produção animal, com maior digestibilidade da matéria seca (Paziani et al., 2009).

Neylon e Kung (2003), avaliando duas alturas de corte em dois diferentes estádios de maturidade do milho, observaram redução no teor de lignina e fibra em detergente ácido (FDA), aumento na concentração de amido e digestibilidade da fibra em detergente neutro (FDN). Ainda neste trabalho foi relatada queda aproximada de 10% na produção de matéria seca por hectare quando se elevou de 12,7 para 45,7 cm a altura de corte. A produção de leite das vacas alimentadas com silagem colhida a 45,7 cm foi maior (46,7 x 45,2 kg de leite/dia, $P < 0,05$) quando comparada às vacas alimentadas com silagem colhida a 12,7 cm, porém quando corrigido a produção de leite para 3,5% de gordura não houve diferença significativa entre os tratamentos.

Vasconcelos et al. (2005), encontrou redução de 17,7% da produção de massa seca por hectare quando se elevou a altura de corte de 10 para 80 cm. Outros autores encontraram resultados similares a estes.

Caetano (2001) avaliando cultivares de milho colhidos em duas alturas de corte para produção de silagem em Jaboticabal (SP) verificou que a elevação da altura de corte melhorou a qualidade da forragem por causa da redução das frações colmo e folha e dos teores de fibra e do aumento da fração grão. E constatou uma produção de 14,7 t ha⁻¹ de MS quando o corte das plantas foi realizado a 5 cm do solo e de 10,9 t ha⁻¹ de MS quando o corte das plantas foi realizado a 5 cm abaixo da primeira espiga.

Resultados de pesquisa desenvolvida nos Estados Unidos, apresentados por Lauer (1998), evidenciaram que a produção de MS é reduzida cerca de 15% quando a altura de corte é elevada de 15 para 45 cm, a partir do nível do solo. No entanto, a produção de leite aumentou aproximadamente 12% para a mesma elevação na altura de corte, porque a parte mais fibrosa e menos digestível da planta de milho foi deixada no campo, resultando em redução de apenas 3% na produção estimada de leite por área.

Para Nussio et al. (2001), o retorno econômico por tonelada de MS por hectare é inferior para plantas colhidas na altura de corte mais elevada (abaixo da espiga), quando comparado com o obtido pelo corte rente ao solo.

No entanto, os autores questionam a viabilidade econômica da elevação da altura de corte das plantas de milho para produção de silagem, pois as plantas colhidas em altura mais elevada devem contribuir não somente para aumentar a reciclagem da matéria orgânica no solo, garantindo condicionamento físico ao mesmo, mas também para retornar grandes quantidades de potássio (K) que se encontram nos internódios inferiores da planta. Ambas as contribuições são positivas para o estabelecimento de um programa duradouro de exploração de áreas para

produção de milho para silagem, em anos subsequentes, visando alta produtividade e merecem avaliação econômica mais cuidadosa, levando em consideração a produção ao longo dos anos para justificar a recomendação (Nussio et al., 2001).

Por fim, cumpre observar que alguns autores estudando altura do corte e híbridos afirmam que mais importante que a altura é a seleção de um híbrido de qualidade (Kennington et al., 2005; Oliveira et al., 2011).

3.8. Controle estatístico de processo

As cartas de valores individuais devem ser usadas para monitorar os indicadores de qualidade que influenciam os itens ou processos produzidos ao longo do tempo (Minitab, 2007). Nesse contexto, um determinado indicador de qualidade pode ser monitorado e interpretado por amostras sucessivas, que podem ser coletadas em determinados períodos, em lotes de produção, em tempo real, ou em lotes de matéria-prima, entre outros, ou seja, são variáveis que possuem características mensuráveis do processo, que podem ser consideradas contínuas (Werkena, 1995).

A partir da identificação de indicadores de qualidade, todas as operações agrícolas, envolvidas no processo produtivo, podem ser objeto de análise. Selecionar indicadores mensuráveis ou passíveis de avaliação deve ser uma tarefa primária em processos que envolvem critérios de qualidade. Isso possibilita mensurar o resultado, principalmente no que se refere ao monitoramento das variáveis de desempenho das máquinas agrícolas, que são fortemente influenciadas por fatores externos à operação (VOLTARELLI et al., 2013).

Partindo do pressuposto de que os objetivos dos processos são o melhor desempenho em qualidade, este deve ser definido como sendo inversamente proporcional à variabilidade, porém, como não é possível eliminar a variabilidade por completo, deve haver a preocupação

em identificar suas causas, minimizando os riscos de não conformidade (Montgomery e Runger, 2003).

Nesse sentido, as cartas de valores individuais são utilizadas para a análise de variáveis ou indicadores de qualidade que influenciam na qualidade dos itens ou do processo ao longo do tempo, tendo aplicação em operações agrícolas mecanizadas, assim pode ser usada também na avaliação do desempenho de ensiladoras para colheita de milho para silagem.

A Figura 1 mostra um modelo da carta de valores individuais. Os limites de controle das cartas de valores individuais podem ser calculados utilizando-se das equações 1 e 2 (Montgomery, 2009):

$$LSC = \mu + L \cdot \sigma \quad (1)$$

$$LIC = \mu - L \cdot \sigma \quad (2)$$

Em que,

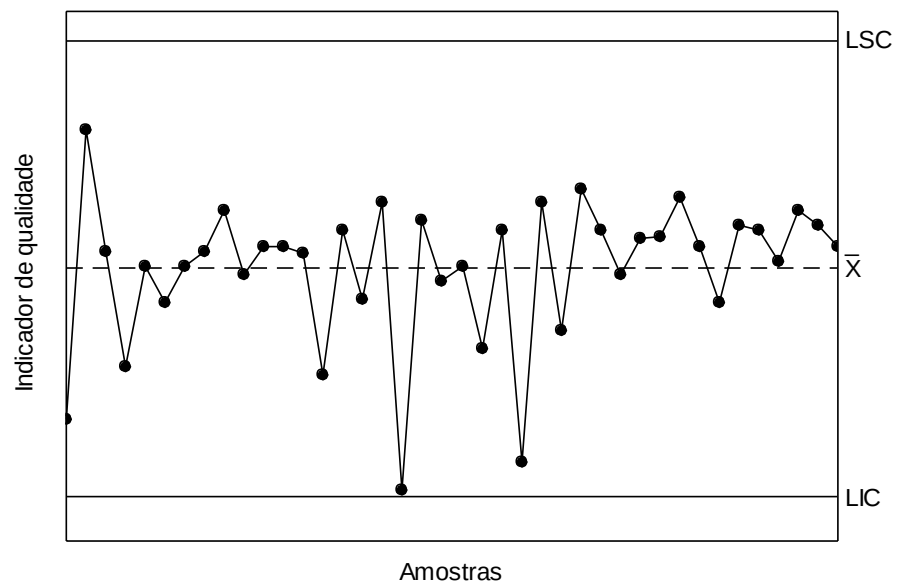
LSC: Limite superior de controle;

LIC: Limite inferior de controle;

μ : Média dos valores individuais;

σ : Desvio-padrão;

L: Largura da faixa entre a média e os limites de controle.



Fonte: Voltarelli (2015)

Figura 1. Modelo de carta de controle de valores individuais. LSC: limite superior de controle; LIC: limite inferior de controle. $\bar{x}$: média geral dos valores individuais.

As cartas de controle de valores individuais são calculadas e elaboradas a partir da largura do intervalo entre a média e os limites de controle (múltiplos do desvio padrão), com os valores 1, 2 e 3σ . Este modelo de carta de controle atua no monitoramento, análise, detecção e eliminação de possíveis fatores externos que atuam na operação, sendo importante ferramenta de auxílio na tomada de decisão, aprimorando as atividades de gestão (Voltarelli, 2015).

3.9. Análise de componentes principais (ACP)

A análise multivariada pode ser definida como um método estatístico exploratório que analisa simultaneamente várias medidas na unidade experimental. Variáveis aleatórias devem ser inter-relacionadas de forma que seus efeitos não possam ser interpretados separadamente de uma forma significativa (Hair et al., 2005).

Há vários tipos de técnicas multivariadas, entre elas a análise fatorial, que inclui a análise do componente principal (ACP) e a análise do fator comum, é uma abordagem estatística que

pode ser usada para analisar as inter-relações entre muitas variáveis e explicar essas variáveis em termos de suas dimensões inerentes comuns (fatores). O objetivo é encontrar uma maneira de condensar as informações contidas em várias variáveis originais em um conjunto menor de variáveis estatísticas (fatores) com perda mínima de informações (Hair et al., 2005).

A escolha do método é baseada em dois critérios: (1) os objetivos da análise fatorial e (2) o montante de conhecimento prévio sobre a variância nas variáveis. A análise de componentes é usada quando o objetivo é resumir a maior parte da informação original (variância) a um número mínimo de fatores para fins de previsão. Em contraste, análise de fatores comuns é usada prioritariamente para identificar fatores ou dimensões latentes que refletem o que as variáveis têm em comum.

Os autovetores (PC1, PC2, ..., PCn) são determinados a partir dos autovalores de covariância e/ou matriz de correlação das características do ramo em ordem decrescente. Assim, PC1 é o componente que explica mais variabilidade no conjunto de dados original, diminuindo até o último componente (Noronha et al., 2018). Os dois maiores autovalores geram os dois primeiros componentes principais, e explicam maior parte da variabilidade do que quaisquer outros componentes (Hair et al., 2005).

4. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Bernardes TF, Do Rêgo AC (2014) Study on the practices of silage production and utilization on Brazilian dairy farms. J. Dairy Sci. 97, p. 1852-1861.

Bernardes TF, Weinberg Z. (2013). Aspectos Associados ao manejo da ensilagem. In: Reis, RA; Bernardes, TF; Siqueira, GR. Forragicultura: Ciência, Tecnologia e Gestão dos Recursos Forrageiros. (In Portuguese) Jaboticabal: Gráfica Multipress, n. 42, p. 671-680.

Boever JL, De Smet A, De Brabander DL, Boucque CV (1993) Evaluation of physical structure.

1. Grass silage. Journal of Dairy Science, v. 76, p.140–153.

Bonilla JA (1994) Qualidade total na agricultura: fundamentos e aplicações. 2 ed. Belo Horizonte: Centro de Estudos de Qualidade Total na Agricultura, p. 344.

Caetano H (2001) Avaliação de onze cultivares de milho colhidos em duas alturas de corte para produção de silagem. 178 f. Tese (Doutorado em Zootecnia) - Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal.

Carvalho IQ, Jobim CC (2013) Como reduzir as perdas de silagem. Inforleite, v. 35, n. 1, p. 44-47. Disponível em: <http://www.ensilagem.com.br/wp-content/uploads/2013/04/RevistaInforleite_35_reservas_OK.pdf>. Acesso em: 22 de janeiro de 2019.

Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB). Acompanhamento da safra de grãos. Boletim da safra de grãos. 2º levantamento 2020/2021. p 47-57, v 8, n 2, 2020.

Corrêa CES, Pereira MN, Oliveira SG, Ramos MH (2003) Performance of Holstein cows fed sugarcane or corn silages of different grain textures. Scientia Agrícola, v. 60, n. 4, P. 621-629.

D' Oliveira PS, Oliveira JS (2014) Produção de Silagem de Milho para Suplementação do Rebanho Leiteiro. Embrapa Gado de Leite. Comunicado Técnico, 74. Juiz de Fora-MG. 10p. Disponível em: <http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/991566> Acesso em 17 de fevereiro de 2021

Daniel JLP, Zopollatto M, Nussio LG (2011) A escolha do volumoso complementar na dieta de ruminantes. Revista Brasileira de Zootecnia, 40, 261- 269.

Ferraretto LF, Vanderwerff LM, Salvati GGS, Dias Júnior GS, Shaver RD (2015) Trituração de milho: perspectivas de equipamentos, armazenamento e animais. In: Anais da 17ª Conferência Internacional de Silagem. ESALQ, Piracicaba, p.150-157.

- Ferreira JJ (2001) Efeito do processamento da planta de milho na qualidade da silagem. In: CRUZ, J.C.; PEREIRA FILHO, I.A.; RODRIGUES, J.A.S.; FERREIRA, J.J. (Eds.) Produção e utilização de silagem de milho e sorgo. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, p. 445-472.
- Garbuio PW, Neto PHW, Leão K, Dalalibera HC, Souza NM (2008b) Regulagens e velocidades de uma colhedora de forragem na ensilagem de sorgo (*Sorghum bicolor* L. Moench). *Current Agricultural Science and Technology*, v. 14, n. 2.
- Garbuio PW (2008a) Influência do conteúdo da matéria seca e da configuração da colheita de forragem no tamanho da partícula e na densidade a granel (*Zea mays* L.) para silagem de planta inteira de dois híbridos de milho. 75 f. Dissertação (Mestrado em Agricultura) - Universidade Estadual De Ponta Grossa, Ponta Grossa.
- Gomes RC, Nunez AJC, Marino CT, Medeiros SR (2015) Estratégias alimentares para gado de corte: suplementação a pasto, semiconfinamento e confinamento. Embrapa Gado de Corte.
- Gomides GC (2013) Fatores determinantes na ensilagem de milho: da colheita à utilização. Escola de Veterinária e Zootecnia. Universidade Federal de Goiás. 31 f. Trabalho de Conclusão do Curso de Graduação em Zootecnia. UFG. Goiânia – GO.
- Hair JR, Anderson RE, Tatham RL (2005) Análise multivariada de dados. Porto Alegre, Buckman. 593p.
- Hülse J, Neumann M, Leão GFM, Souza AMD, Santos LCD, Vigne GLD (2020) Effect of raising the cutting height in corn on performance and carcass traits of lambs. *Ciência Animal Brasileira*, v. 21, e-52862. Epub June 15.
- Instituto econômico agrícola (IEA) (2020) Previsões e Estimativas das Safras Agrícolas do Estado de São Paulo, Ano Agrícola 2019/20, junho de 2020. Disponível em: <http://www.iaea.gov.br/out/TerTexto.php?codTexto=14839> Acesso em: 18 de novembro de 2020.

Jobim CC, Branco AB, Santos GT (2003) Silagem de grãos úmidos na Alimentação de bovinos leiteiros. EMATER Goiânia – GO. Avaliação de produtividade e produção. Levantamento realizado em maio 2020. Safra de verão 2019/2020. p. 357-376. Disponível em: http://www.emater.tche.br/site/arquivos_pdf/safra/safraTabela_21052020.pdf Acesso em: 18 de novembro de 2020.

Kazama EH, Silva RP, Ormond ATS, Alcântara AS, Vale WG (2018) Cotton and fiber quality in function of picker harvest speed. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental. v. 22, n. 8, p. 583-588.

Kennington LR, Hunt CW, Szasz JI, Grove AV, Kezar W (2005) Effect of cutting height and genetics on composition, intake, and digestibility of corn silage by beef heifers. Journal of animal science, v.83, n. 6, p. 1445-1454.

Krizsam, SJ e Randby, AT (2007) The effect of fermentation quality on the voluntary intake of grass silage by growing cattle fed silage as sole feed. Journal of Animal Science, v.85, p.984-996.

Krüger AM (2012) Massa específica e suas implicações na conservação e no valor nutricional em silagens de milho. Dissertação de Mestrado. Universidade Estadual de Maringá.

Lauer J (1998) Corn silage yield and quality trade-offs when changing cutting height. Agronomy Advice. Disponível em: <<http://corn.agronomy.wisc.edu/Publications/Aadvice/1998/CuttingHeightYieldAndQualityTrade-OffForCornSilage.html>>. Acesso em: 10 jun. 2001.

Mialhe LG (1984) Máquinas para colher cereais. Piracicaba: ESALQ, p. 66.

Minitab (2007) MINITAB Release 16: Meet MINITAB 16. MINITAB StatGuide; MINITAB Help. [S.l.]: Minitab.

Montgomery DC (2009) Introdução ao controle estatístico da qualidade. 4. ed. Rio de Janeiro: LTC, p. 100 – 200.

Montgomery DC, Runger GC (2003) Applied statistics and probability for engineers. 3rd ed. New York: John Wiley and Sons, p. 706.

Muck RE, Moser LE, Pitt RE (2003) Post-harvest factors affecting ensiling.

In: Buxton, D.R., Muck, R.E., Harrison, J.H., editors. Silage Science and Technology.

Madison, WI: American Society of Agronomy, Crop Science Society of America, Soil Science of America. p. 251-304.

Neumann M, Leão GFM, Coelho MG, Figueira DN, Spada CA, Perussolo LF (2017) Aspectos produtivos, nutricionais e bioeconômicos de híbridos de milho para produção de silagem. Archivos de zootecnia, v. 66, n 253, p. 51-57.

Neumann M, Mühlbach PRF, Nörnberg JL, Restle J, Ost PR (2007) Efeito do tamanho de partícula e da altura de colheita das plantas de milho (*Zea mays* L.) sobre as perdas durante o processo fermentativo e o período de utilização das silagens. Revista Brasileira de Zootecnia, v. 36, n. 5, p. 1395-1405.

Neumann M, Oliveira M, Zanette P, Ueno R, Marafon F, Souza M (2011) Aplicação de procedimentos técnicos na ensilagem do milho visando maior desempenho animal. In: IV SIMPÓSIO: PRODUÇÃO E UTILIZAÇÃO DE FORRAGENS CONSERVADAS, 4., 2011, Maringá. Anais... Maringá: Sthampa. p. 95-130.

Neylon JM, Kung Jr L (2003) Effects of cutting height and maturity on the nutritive value of corn silage for lactating cows. Journal of Dairy Science, v. 86, n. 6, p. 2163-2169.

Nogueira. 2019. Manual de instruções. Colhedora de forragens New Pecu G2. NOGUEIRA Ind. Com. Impl. Máquinas Agrícolas S.A. v.7, 104p.

Noronha RHF, Zerbato C, Silva RP, Ormond ATS, Oliveira MF (2018) Multivariate analysis of peanut mechanized harvesting. *Engenharia Agrícola*, v. 38, n. 2, p. 244-250.

NUSSIO LG (1991) Cultura de milho para produção de silagem de alto valor alimentício. In: PEIXOTO, A.M. et al. In: SIMPÓSIO SOBRE NUTRIÇÃO DE BOVINOS, 4., 1991, Piracicaba. Anais... Piracicaba: Fundação de Estudos Agrários “Luiz de Queiroz”. p.59-168.

Nussio LG, Campos FP, Dias FN (2001) Importância da qualidade da porção vegetativa no valor alimentício da silagem de milho. In: SIMPÓSIO SOBRE PRODUÇÃO E UTILIZAÇÃO DE FORRAGENS CONSERVADAS, 1., Maringá, 2001. Anais...Maringá: Universidade Estadual de Maringá, p. 127-145.

Oliveira FD, Jobim CC, Silva MD, Calixto Junior M, Bumbieris Junior VH, Roman J (2011) Produtividade e valor nutricional da silagem de híbridos de milho em diferentes alturas de colheita. *Revista Brasileira de Zootecnia*, v. 40, n. 4, p. 720-727.

Paziani SDF, Duarte AP, Nussio LG, Gallo PB, Bittar CMM, Zopollatto M, Reco PC (2009) Características agrônômicas e bromatológicas de híbridos de milho para produção de silagem. *Revista Brasileira de Zootecnia*, v. 38, n.3, p. 411-417.

Prasad J, Gupta CP (1975) Mechanical properties of maize stalk as related to harvesting. *Journal of Agriculture Engineering Research*. London, v. 20, p. 79-87.

Resende H, Oliveira J, De Miranda JEC, Leite J (2017). Tecnologia e custo da silagem de milho. Embrapa Gado de Leite - Circular Técnica. Juiz de Fora - MG. 2017.

Restle J, Neumann M, Brondani IL, Pascoal LL, Silva JHSD, Pellegrini LGD, Souza ANMD (2002) Manipulação da altura de corte da planta de milho (*Zea mays*, L.) para ensilagem visando a produção do novilho superprecoces. *Revista Brasileira de Zootecnia*, v. 31, n. 3, p. 1235-1244.

- Rippel C, Jordan E, Stokes S (1998) Evaluating Particle Size in Texas TMRs. Professional Animal Scientist. Savoy, v. 14, p. 20-29.
- San Emeterio F, Reis RB, Campos WE, Satter LD (2000) Effect of coarse or fine grinding on utilization of dry or ensiled corn by lactating dairy cows. Journal of dairy science, v. 83, n. 12, p. 2839-2848.
- Santos AF, Silva RP, Zerbato C, Menezes PC, Kazama EH, Paixão CSS, Voltarelli MA (2019) Use of real-time extend GNSS for planting and inverting. Peanuts. Precision Agriculture, p. 1-17.
- Santos G, Moraes JMM e Nussio LG (2017) Custo e análise de sensibilidade na produção de silagem. Revista IPecege, v. 3, n. 1, p. 39-48.
- Satter, LD e Reis, RB (2012) Milk production under confinement conditions. US. Dairy Forage Research Center, USDA-ARS and Dairy Science Department. University of Wisconsin, Madison, Wisconsin, USA, p. 37.
- Silva DJ, Queiroz AC (2002) Análise de alimentos (Métodos químicos e biológicos). 3 ed., Viçosa: UFV, p. 235.
- Srivastava AK, Goering CE, Rohrbach RP (1993) Engineering principles of agricultural machines. St. Joseph, Michigan: American Society of Agricultural Engineers, p. 601.
- Tavares TO, Borba MAP, Oliveira BR, Silva RP, Voltarelli MA, Ormond ATS (2018) Effect of Soil Management Practices on the Sweeping Operation during Coffee Harvest. Agronomy Journal. V. 110, p.1689-1696.
- Vasconcelos RCD, Von Pinho RG, Rezende AV, Pereira MN, Brito AHD (2005) Efeito da altura de corte das plantas na produtividade de matéria seca e em características bromatológicas da forragem de milho. Ciência e Agrotecnologia, v. 29, n.6, p. 1139-1145.

Velho JP, Mühlbach PRF, Genro TCM, Sanchez LMB, Nörnberg JL, Orqis MG, Falkenberg JR (2006) Alterações bromatológicas nas silagens de milho submetidas a crescentes tempos de exposição ao ar após "desensilagem". *Ciência Rural*, v. 36, n. 3, p. 916-923.

Voltarelli MA, Silva RP, Rosalen DL, Zerbato C, Cassia MT (2013) Quality of performance of the operation the sugarcane mechanized planting in day and night shifts. *Australian Journal Crop Science*, v.7, n.9, p.1396-1406.

Voltarelli MA (2015) Ferramentas da qualidade na colheita mecanizada de cana-de-açúcar. 149 f. Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias de Jaboticabal – UNESP, Jaboticabal.

Werkema MCC (1995) Ferramentas estatísticas básicas para o gerenciamento de processos. Belo Horizonte: Fundação Christiano Ottoni, v. 2, p. 10-290.

CAPÍTULO 2 –COLHEITA MECANIZADA DE MILHO SILAGEM EM FUNÇÃO DAS ENSILADORAS – ESTUDO DE CASO

RESUMO

A qualidade da colheita mecanizada de silagem varia em função da máquina utilizada. É possível escolher alternativas de colheita da silagem conciliando rendimento, processamento e custo da operação. Dessa forma, para aumentar eficiência da colheita é preciso estudar o funcionamento da operação. Neste contexto, objetivou-se avaliar a eficiência e a qualidade da colheita mecanizada de silagem de milho, em função do desempenho operacional e da análise de perdas, utilizando para isso três ensiladoras montadas no SHTP com regulagens de tamanho de partícula diferentes (E1, E2, E3), a fim de identificar as falhas e contribuir positivamente para o processo. O experimento foi realizado no município de Jaboticabal, SP, Brasil. O delineamento experimental seguiu as premissas do controle estatístico de qualidade (CEQ), utilizando como ferramenta as cartas de controle de valores individuais. Os indicadores de qualidade analisados foram: Capacidade de campo operacional (CCO); Tempo de manobra (TM); Tempo de engate e desengate (TE); Tempo de paradas (TP), Eficiência de colheita (ECol), Eficiência de campo (EC), Perdas de Silagem, Colmo, Remanescentes e Perdas totais. A escolha da ensiladora dependerá da estratégia de colheita que se deseja adotar, porém a E3 mostrou-se a mais eficiente para a operação quando avaliado o conjunto das variáveis deste estudo considerando a colheitabilidade (consumo por área, capacidades e perdas).

Palavras-chave: Eficiência de colheita; Desempenho Operacional; Forragem; Colhedora; Perdas.

ABSTRACT

The quality of mechanized silage harvesting varies depending on the machine used. It is possible to choose alternatives for harvesting the silage, reconciling yield, processing and

operation cost. Thus, to increase harvest efficiency, it is necessary to study the operation of the operation. In this context, the objective was to evaluate the efficiency and quality of mechanized harvesting of corn silage, as a function of operational performance and loss analysis, using three forage machines mounted in SHTP with different particle size settings (E1, E2, E3), in order to identify the flaws and contribute positively to the process. The experiment was carried out in the city of Jaboticabal, SP, Brazil. The experimental design followed the premises of statistical quality control (CEQ), using individual value control charts as a tool. The quality indicators analyzed were: operational field capacity (OCC); Maneuver Time (TM); Engagement and disengagement time (TE); Downtime (TP), Harvest Efficiency (ECol), Field Efficiency (EC), Silage Losses, Thatch, Remnants and Total Losses. The choice of the forage harvester will depend on the harvesting strategy you want to adopt, but E3 proved to be the most efficient for the operation when evaluating the set of variables in this study considering harvestability (consumption by area, capacities and losses). **Keywords:** Harvest efficiency; Operational Performance; Forage; Harvester; Losses.

1. INTRODUÇÃO

A utilização da silagem na alimentação animal garante um volumoso de qualidade e quantidade para uma boa nutrição em períodos que as condições climáticas dificultam a produção de forragem (Resende et al., 2017), sendo muito utilizada nos sistemas produtivos como confinamentos e, geralmente, é produzida na própria propriedade (Gomes et al., 2015).

Há várias formas de avaliar a qualidade da silagem, como as análises sensoriais, químicas e microbiológicas, desempenho dos animais e aspectos físicos da silagem (Jobim et al., 2007).

Entre os aspectos físicos, os pontos a serem avaliados são a determinação da matéria seca, para formulação da dieta; o tamanho médio da partícula e a altura de corte, que influenciam na qualidade e quantidade de forragem colhida (Nussio, 2001).

Outro aspecto de qualidade da silagem de milho é a quantidade de amido presente. Em razão da dieta de vacas leiteiras de alta produção ser constituída por 25 a 35% de amido, fica evidente que a melhora na eficiência de utilização do amido representa real importância na produção de leite (Jobim, Branco e Santos, 2003).

Silagens colhidas com quebrador de grãos mostraram um aumento da digestibilidade dos animais da matéria seca, do amido (Rinne & Sepala, 2011) e de carboidratos estruturais (Andrae et al., 2001). Porém a obtenção de um processamento adequado dos grãos, sem reduzir o tamanho de partícula da fibra, é difícil quando a silagem é colhida com máquinas tracionadas por trator e sem quebrador de grãos (Bernardes e Do Rêgo, 2014).

Quando a silagem é colhida adequadamente com bom nível de processamento dos grãos é possível reduzir custos, aumentar a produção de leite, os sólidos do leite e a saúde de vacas leiteiras (Bal et al., 2000), além de contribuir para maior competitividade de fazendas produtoras de leite com outros setores do agronegócio.

As perdas desde a colheita da silagem até o consumo pelos animais variam de 21 a 34% (Carvalho e Jobim, 2013). Assim, apesar dos avanços em pesquisas sobre a qualidade da silagem de milho (D' Oliveira & Oliveira, 2014), há necessidade de estudos sobre a colheita mecanizada de silagem relacionada às condições operacionais dessas máquinas, regulagens dos mecanismos de recolhimento, picagem e transporte da máquina, influência da habilidade do operador, a fim de mitigar as perdas no processo de colheita mecanizada.

A falta de acompanhamento técnico reduz a capacidade de colheita, aumenta o tempo e o custo com operações (Krüger, 2012; Gomides et al, 2013). Outrossim, o processo da colheita ao transporte da silagem é considerado crítico, pois pode resultar em prejuízo quando malconduzido devido à má escolha da janela de colheita, falta de escalonamento das áreas a serem colhidas, uso de maquinário, número de ensiladoras por área, número de transbordos e regulagens inadequados resultando em perdas, ainda que a produtividade da cultura tenha sido adequada (Mialhe, 1984; Srivastava et al.,1993).

Desta forma, acredita-se que o monitoramento do processo de colheita de milho para silagem pode ajudar a melhorar a eficiência da operação, a redução dos custos de produção e

minimizar as perdas vegetais e de combustível, além de otimizar o tempo. No entanto, ainda não há estudos sobre o desempenho operacional e as perdas vegetais da colheita de silagem.

Neste contexto, objetivou-se avaliar a eficiência e a qualidade da colheita mecanizada de silagem de milho, em função do desempenho operacional e da análise de perdas, utilizando para isso três ensiladoras montadas no SHTP com regulagens de tamanho de partícula diferentes (E1, E2, E3), a fim de identificar as falhas e contribuir positivamente para o processo.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1. Área experimental

O trabalho foi desenvolvido em área de produção, localizada próximo as coordenadas geodésicas 21°14' latitude Sul e 48°16' longitude Oeste (Figura 1), com altitude média de 593 metros, declividade 5,8%, apresentando clima Aw de acordo com classificação de Köppen. O solo é classificado como Oxisols (Soil Taxonomy, 2006) com relevo suave ondulado (EMBRAPA, 1999). O tamanho total da área experimental colhida é de 45,6 ha.

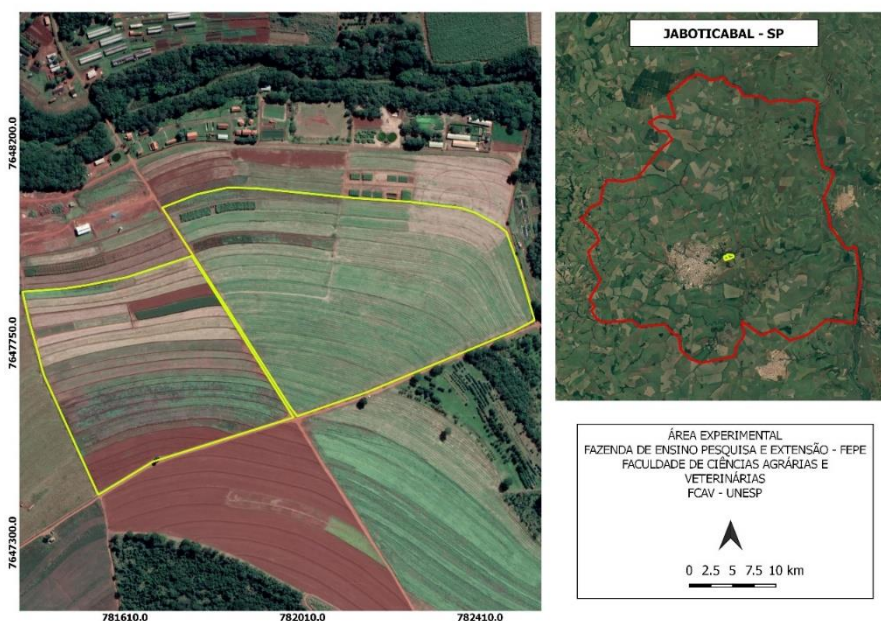


Figura 1. Área experimental da Fazenda de Ensino, Pesquisa e Extensão (FEPE) da Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias de Jaboticabal (FCAV-UNESP).

A semeadura do híbrido de milho 2B710PW, ocorreu em 17 de novembro de 2017 com espaçamento entre linhas de 0,90 metros com 6 sementes por metro, com população de 66.666 sementes ha^{-1} . Na adubação de semeadura foram utilizados 350 kg ha^{-1} da fórmula 08-28-16 NPK. Na adubação de cobertura foi feita a aplicação de 200 kg de ureia e 200 kg ha^{-1} da fórmula 30-00-10 NPK em 28 de novembro de 2017. A colheita foi realizada aos 97 dias após a semeadura.

Durante a safra, a temperatura média atingida foi de 24°C, sendo 35°C a máxima e 14°C a temperatura mínima. A umidade relativa média foi de 77%, sendo a máxima de 100% e a mínima de 20%. A radiação média foi 27 $\text{MJm}^2\text{dia}^{-1}$ e a precipitação média diária foi de 7 mm (Material Suplementar 1). Os dados climatológicos apresentaram-se dentro das condições ideais de desenvolvimento da cultura (Embrapa, 2021).

2.2. Equipamentos

Foram avaliadas três ensiladoras montadas no sistema hidráulico de três pontos (SHTP) do trator. Os tratores utilizados foram escolhidos de acordo com as exigências de potência das ensiladoras, dentro do disponível na fazenda. Sendo que os conjuntos (trator + ensiladora) utilizados no experimento foram: Trator New Holland de 80,90 kW (110 cv) com a Ensiladora 1 (E1); Trator New Holland 6020 de 88,26 kW (120 cv) com a Ensiladora 2 (E2) e Trator Massey Fergusson 283 de 67,66 kW (92cv) com a Ensiladora 3 (E3). A Tabela 1 apresenta as diferenças entre os mecanismos das ensiladoras testadas segundo o manual do fabricante.

Tabela 1. Características técnicas das ensiladoras testadas (E1, E2 e E3).

Diferenças	E1	E2	E3
Número de linhas de colheita	1	2	1
Mecanismo de alimentação	4 cilindros dentados	4 cilindros dentados	3 cilindros dentados 1 cilindro liso
Número de facas do picador	12	12	10
Número de lançadores	6	6	0
Presença de Quebrador de grãos	Sim	Sim	Não
Potência requerida na TDP	36,77 kW (50 cv) a 58,84 (80 cv)	73,55 kW (100 cv)	36,77 kW (50 cv)
Velocidade de deslocamento do conjunto	2,9 km h ⁻¹	2,7 km h ⁻¹	3,5 km h ⁻¹

*cv = cavalo vapor; kW = kilowatt; TDP = tomada de potência.

A velocidade média de deslocamento de cada ensiladora para colheita foi estabelecida levando em conta o tamanho de partícula desejado, além de outros fatores como a produtividade da área, declividade do terreno, potência do trator de modo que não ocasionasse problemas como embuchamento, resultando nas médias.

O rotor picador apresenta as configurações para as condições de: corte médio a longo para uma silagem nutritiva sendo de 6 a 33 mm e 5 a 26 mm; um corte mais curto que auxilia a fermentação nos biodigestores de 4 a 22 mm e 3 a 16 mm; e outro corte mais fino possível de 2 a 13 mm (Nogueira, 2019).

Desta forma, as ensiladoras foram avaliadas a fim de que os produtores possam analisar estratégias de produção de silagem (E1, E2 e E3), visto que cada situação exige um tipo adequado de colheita, regulagens e maquinários, conforme a tabela 2.

Tabela 2. Estratégias das ensiladoras testadas (E1, E2 e E3).

Ensiladoras	E1	E2	E3
Estratégias	Comprimento de partículas curto e	Comprimento de partículas médio e grão	Comprimento de partículas longo e

	Milho Moído Fino: Técnica de processamento do milho mais utilizada no Brasil.	processado. A técnica de processamento do milho visa quebrar o grão em 3 a 4 partes.	Milho Grão Inteiro: Consiste em se utilizar o milho sem processamento.
Vantagens	Maior digestibilidade do alimento quando comparado; maior ganho médio diário do animal.	Grande produtividade do equipamento, baixíssimo risco de acidose; e por apresentar partículas maiores reduz as perdas em relação ao milho moído fino.	Conveniência, simplicidade da operação.
Desvantagens	Maior risco de acidose; e devido ao pequeno tamanho das partículas, podem ocorrer perdas durante o processamento, armazenagem, transporte e distribuição do alimento.	Menor digestibilidade em relação ao milho moído fino.	Menor digestibilidade do grão; e menor ganho médio diário do animal, em função do pior aproveitamento do alimento.

Para transporte da silagem colhida, foi utilizado o vagão acoplado na ensiladora, e transportados por trator para o silo. Sendo quatro vagões disponíveis para as ensiladoras. Com as dimensões: comprimento: 3,60m; altura: 1,43m; largura: 2m, e capacidade de carga de 4,5 t.

2.3. Caracterização da Produtividade

Para caracterização da produtividade da área, as coletas das plantas de milho foram realizadas nos estádios fenológicos R4 e R5 (grão pastoso a farináceo), por meio da escolha aleatória de dez pontos amostrais em área total, constituídos das plantas presentes em um metro de comprimento na linha de semeadura (Tabela 2).

As amostras coletadas foram pesadas e separadas para obter o material fresco: da planta inteira, das plantas sem os grãos e dos grãos somente. Posteriormente, separou-se as amostras de grãos para a determinação da umidade e peso de 100 grãos.

Após separadas, as amostras foram acondicionadas em sacos de papel e levados à estufa de circulação forçada de ar a 105°C até atingir massa constante (AACCC, 1976). A partir dessas análises foi obtido a massa verde e seca dos grãos e transformadas em kg ha⁻¹.

2.4. Desempenho Operacional

A colheita mecanizada do milho para silagem, neste estudo de caso, foi feita de modo habitual da fazenda, porém fornecendo as mesmas condições para cada conjunto, conforme mostra a Figura 2.

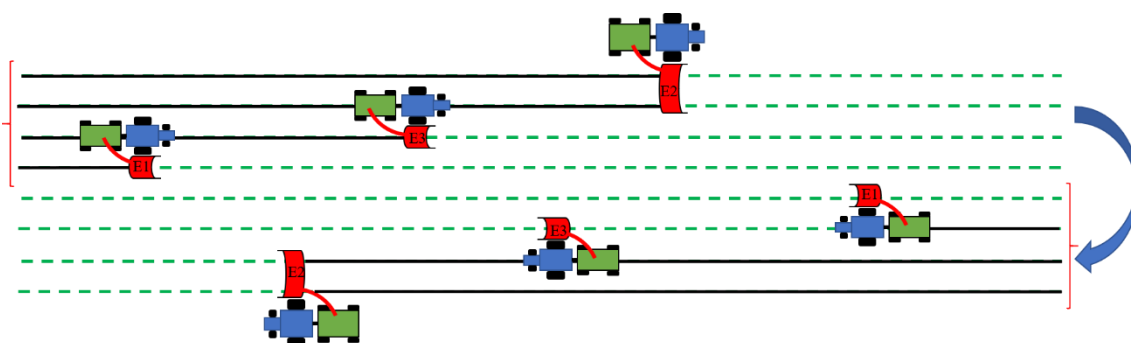


Figura 2. Croqui da avaliação de desempenho operacional para colheita de milho para silagem.

As ensiladoras trabalharam simultaneamente durante um mês. Neste tempo, os conjuntos foram monitorados todos os dias, com anotações dos tempos de trabalho, engate e desengate, manobras e paradas por vagão colhido. Classificados de acordo com a Tabela 3.

Tabela 3. Classificação dos tempos realizados pelos conjuntos.

Tempos	Descrição
Manobra (M)	Tempo necessário para manobrar o conjunto trator-ensiladora entre linhas, medido o intervalo de tempo decorrido entre a pausa

	no funcionamento da colhedora no final de uma linha até que ela seja reposicionada no início de outra linha.
Engate e Desengate (ED)	Tempo necessário para desengatar uma carreta cheia e engatar uma carreta vazia.
Paradas (P)	Tempo gasto reparando e limpando os roletes e tubo de descarga, mais o tempo necessário para resolver problemas imprevistos, como embuchamento da máquina, espera de carreta e paradas para as necessidades pessoais do operador.
Colheita (TC)	Tempo necessário para a operação de colheita do milho, medido o intervalo de tempo em que a colhedora permaneceu colhendo (tempo total).

A velocidade de cada conjunto foi calculada por meio da média, de cinco repetições, do cálculo do tempo gasto para colher 100 metros dividido pelo tempo decorrido. O Consumo de combustível para cada trator foi calculado de acordo com a quantidade de diesel abastecido dividido pelo número de horas trabalhadas. Sendo que cada conjunto começou a trabalhar utilizando a capacidade do tanque cheio, sendo finalizado o trabalho também com o tanque cheio.

A proporção de silagem de milho colhida para cada ensiladora foi estimada de acordo com o somatório do número de vagões que foram cheios por dia, multiplicado pela média do peso diário dos vagões cheios, menos o peso do vagão vazio. Ainda, com base nas anotações de campo foram calculados os indicadores de qualidade abaixo:

A Capacidade de Campo Efetiva (CCE) foi calculada pela metodologia de Mialhe (1974), a Capacidade de Campo Operacional (CCO) e o Tempo de Manobra (TM) foram calculados de acordo com Mialhe (1996), pelas equações 1, 2 e 3, respectivamente.

$$CCE = \frac{\text{Área trabalhada}}{\text{Tempo trabalhado}} \quad (1)$$

Em que: CCE: Capacidade de Campo Efetiva (ha h⁻¹).

$$CCO = \frac{\text{Área trabalhada}}{\text{Tempo total}} \quad (2)$$

Em que: CCO: Capacidade de Campo Operacional (ha h⁻¹).

$$TM (\%) = \frac{M}{TC+M+P+ED} \times 100 \quad (3)$$

Em que: TM: Tempo de manobra (%); M: Manobras (h); TC: Tempo de colheita (h); ED: Engate/desengate (h); P: Paradas (h).

O tempo de engate e desengate (TE) (%), foi calculado pelo necessário para desengatar uma carreta cheia e engatar uma carreta vazia (Equação 4), (Mialhe, 1996).

$$TE (\%) = \frac{ED}{TC+M+P+ED} \times 100 \quad (4)$$

Em que: TE: tempo de engate e desengate (%).

O tempo de paradas (TP) (%), foi calculado pelo tempo de manutenção mais tempos de problemas (Equação 5), (Mialhe, 1996).

$$TP (\%) = \frac{P}{TC+M+P+ED} \times 100 \quad (5)$$

Em que: TP: tempo de paradas (%).

As equações 6 e 7 foram utilizadas para calcular a Eficiência de Campo (EC) indica o quanto do tempo total de campo disponível está sendo utilizado para a colheita, Eficiência de colheita (ECol) é a razão entre o tempo efetivo no qual a máquina trabalha ao tempo total no qual se dedica a operação de colheita, indica o quão eficiente é o sistema, levando em consideração os tempos de manobra e engate/desengate (Gago, 1986) .

$$EC (\%) = \frac{TC}{TC+M+P+ED} \times 100 \quad (6)$$

Em que: EC: Eficiência de campo (%), TC: Tempo de colheita (h), M: Manobras (h), ED: Engate/desengate (h), P: Paradas (h).

$$ECol (\%) = \frac{TC}{TC+M+ED} \times 100 \quad (7)$$

Em que: EC: Eficiência de colheita (%).

A análise operacional foi feita de acordo com a metodologia de Mialhe (1974). Foram calculadas as médias para: o Ritmo Operacional (RO), e o Número de Conjuntos (NC) necessários para atender a operação dentro do tempo disponível.

O Consumo de combustível por hora (CCh); Consumo de combustível por área colhida (CCa); a Capacidade de produção (CP), Consumo de combustível por quantidade colhida ($L\ t^{-1}$) (CQC), Custo operacional gasto com óleo diesel para colher uma tonelada de silagem (CO) ($R\$ t^{-1}$). Equações 8, 9, 10, 11 e 12, respectivamente.

O consumo de combustível por hora ($L\ h^{-1}$);

$$CCh = \frac{\text{Combustível utilizado}}{\text{Horas Trabalhadas}} \quad (8)$$

Em que: CCh = Consumo de combustível por hora ($L\ h^{-1}$);

$$CCa = \frac{\text{Combustível utilizado}}{\text{Área trabalhada}} \quad (9)$$

Em que: CCa= Consumo de combustível por área colhida($L\ ha^{-1}$)

$$CP = \frac{\text{Total colhido}}{\text{Horas Trabalhadas}} \quad (10)$$

Em que: CP= Capacidade de produção ($t\ h^{-1}$).

$$CQC = \frac{CCh}{CP} \quad (11)$$

Em que: CQC= Consumo de combustível por quantidade colhida ($L\ t^{-1}$).

$$CO = \frac{Cch \times 3,50}{CP} \quad (12)$$

Em que: CO: Custo operacional gasto com óleo diesel em reais (R\$) para colher uma tonelada de silagem ($R\$ t^{-1}$), 3,50: Valor do óleo diesel na região no período experimental em janeiro de 2018 ($R\$ L^{-1}$); $R\$ 3,50 = USD\$1,10$ (BCB, 2018).

2.5. Análise de Perdas na colheita

Para avaliação das perdas na colheita mecanizada de silagem de milho foram coletadas amostras a cada 100 metros ao longo do tempo sendo um total de 27 amostras de perdas, para cada ensiladora. Cada ponto amostral foi composto por quatro lonas, medindo 0,90 metros de largura por 1,0 metro de comprimento cada, totalizando área amostral para cada parcela de 3,6 m². As lonas foram postas entre as linhas de semeadura, as quais tinham espaçamento de 0,90 metros, antes do início da colheita, conforme a Figura 3.

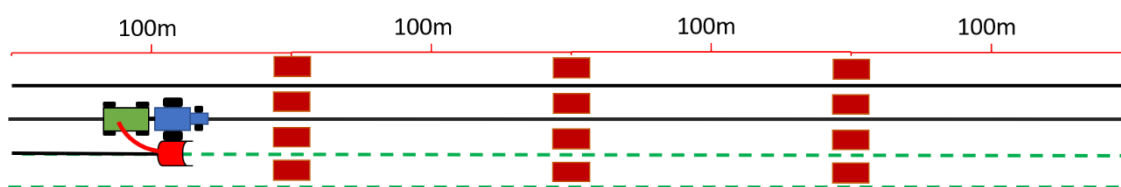


Figura 3. Croqui avaliação de perdas na colheita mecanizada de milho para silagem.

O material foi coletado manualmente na superfície da lona posicionada entre as linhas no solo, e classificado em três tipos de perdas: Remanescentes - Material que não foi recolhido pela máquina (Figura 4A); Colmo - Material remanescente, material cortado na altura de corte pré-definida em 15 cm de altura (perdas por altura de corte), medindo-se diretamente a diferença nos colmos remanescentes no campo (Figura 4B); Silagem - Material colhido, processado (picado), porém não carregado no vagão (Figura 4C); e Perdas Totais (PT), o somatório dos três tipos de perdas.



Figura 4. Perdas na colheita mecanizada de milho para silagem. (A) Remanescentes ou plantas inteiras que não foram recolhidas pela máquina; (B) Perdas na altura de corte dos colmos; (C) Silagem.

2.6. Análise tamanho de partícula colhida

Antes de iniciar o estudo de caso, para caracterizar a estratégia de cada ensiladora, foram coletadas três amostras de 500 gramas dos vagões diariamente, durante sete dias, de maneira que o material foi pesado e passado na peneira Penn State retendo os seguintes tamanhos de partícula (TP): maiores de 19 mm, entre 8 e 19 mm, 4 a 8 mm e menores que 4 mm, o material de cada peneira foi separado em sacos de papel, pesados e assim estimado os valores mediante cálculo do valor médio ponderal (Heinrichs & Kononoff, 1996).

A tabela 4 apresenta os resultados das análises de tamanho médio de partículas cortadas para cada ensiladora.

Tabela 4. Porcentagem do tamanho de partícula (mm) de cada ensiladora (E1, E2 e E3).

>19 mm	19 a 8 mm	8 a 4 mm	< 4 mm
--------	-----------	----------	--------

E1	10	44	30	16
E2	6	64	21	9
E3	19	48	22	11

2.7. Delineamento Experimental

O delineamento foi elaborado de acordo com as premissas do Controle Estatístico de Qualidade (CEQ). Foi selecionado como ferramenta de análise as cartas de controle de valores individuais, pois permite o monitoramento da variabilidade ocorrente nos indicadores de qualidade durante o processo de colheita. Assim é possível, avaliar se as ensiladoras apresentaram qualidade de processo, caracterizado pela menor variabilidade das variáveis.

Nesta pesquisa foram selecionados indicadores de qualidade para desempenho operacional como: CCO: Capacidade de Campo Operacional (ha h^{-1}); TM: Porcentagem do tempo destinado a tempo de manobra (%); TP: Porcentagem do tempo destinado a tempo de parada (%); TE: Porcentagem do tempo destinado a tempo de engate e desengate (%); ECol: Eficiência de colheita (%), EC: Eficiência de campo (%), RO: Ritmo Operacional (%); CCE: Capacidade de campo efetiva (ha h^{-1}); NC: número de conjuntos; CCh: Consumo de combustível por hora (L h^{-1}); CCa: Consumo de combustível por área colhida (L ha^{-1}); CP: Quantidade de forragem colhida por hora (t h^{-1}); CQC: Consumo de combustível por quantidade de forragem colhida (L t^{-1}); CO: Custo Operacional da tonelada colhida por hora ($\text{R\$ t}^{-1}$).

E os indicadores de qualidade para análise de três tipos de perdas na colheita mecanizada de milho para silagem foram: Perdas de Silagem, Remanescentes, Colmos; e PT: Perdas totais de matéria verde (kg ha^{-1}).

2.8. Análise estatística

Foram utilizados parâmetros da estatística descritiva e do controle de estatístico de processo (CEP), para analisar o desempenho operacional e as perdas na colheita mecanizada de milho para silagem, sendo eles descritos a seguir:

A análise descritiva utilizou os indicadores de qualidade ECol (%) e EC (%) para análise do desempenho operacional. Para a construção das cartas de valores individuais os indicadores de qualidade da operação da colheita mecanizada de milho para silagem foram: (CCO (ha h^{-1}); TM (%); TP (%); TE (%); Perdas de: Silagem; Remanescentes; Colmo e PT (kg ha^{-1}), independentemente da sua suposição de normalidade.

Para a carta de controle TP utilizou-se como limite específico de controle 11%, e para o indicador TE utilizou-se como limite superior específico de controle 19% e inferior de 7%, com base na metodologia de Harrigan (2003).

A análise da variabilidade da colheita mecanizada de milho foi monitorada utilizando cartas de controle individual (Individual charts), as quais contém gráfico correspondente aos valores individuais amostrados ponto a ponto. Esse tipo de carta permite avaliar a qualidade da operação, indicando por meio da variabilidade, os problemas como manobras mais demoradas, problemas nas regulagens, excesso de paradas ou de perdas, bem como sua causa.

3. RESULTADOS

3.1. Desempenho Operacional

Para melhoria do desempenho operacional é necessário entender o funcionamento e as possíveis falhas na operação, para posteriormente auxiliar na tomada de decisões da colheita e no gerenciamento das operações durante a ensilagem, a fim de diminuir as perdas do

processo, como perdas de combustível, perda na qualidade da silagem, perdas de tempo, maquinário, entre outras. Assim, é possível otimizar a operação de forma sustentável e reduzindo custos.

Nesse sentido, a Tabela 5 mostra a análise descritiva da eficiência de campo (EC) e a eficiência de colheita (ECol) para analisar a operação de colheita, em que a EC indica o quão eficiente é o sistema no que diz respeito à influência dos tempos de manobra e descarregamento, e a ECol indica a eficiência da operação, em um sistema que não teria pausas, sendo possível observar a partir das variáveis, o tempo que pode ser otimizado (Gago, 1986).

Tabela 5. Análise descritiva do indicador de qualidade para o desempenho operacional.

ECol: Eficiência de colheita (%); EC: Eficiência de campo (%) para as ensiladoras.

Variáveis	Colhedora	Média	σ	CV	Mín.	Mediana	Máx.	Ampl.
ECol (%)	E1	68,42	15,23	22,26	32,25	72,99	93,33	61,09
	E2	81,02	4,69	5,79	71,60	82,08	92,52	20,92
	E3	75,59	12,60	16,67	41,11	78,95	90,36	49,25
EC (%)	E1	62,02	16,80	27,09	22,57	62,56	93,33	70,77
	E2	65,06	20,53	31,55	17,99	73,06	87,59	69,60
	E3	72,18	13,02	18,04	41,11	76,44	90,36	49,25

* σ = Desvio Padrão; CV= Coeficiente de variação; Mín.= Mínimo; Máx.= Máximo; Ampl.: Amplitude.

A E1 apresentou CV muito alto, E2 baixo e E3 médio para a variável ECol, enquanto, para EC, a E1 também foi alto, para E2 muito alto e para E3 foi médio, segundo a classificação de Pimentel Gomes & Garcia (2002). Para avaliação de máquinas, no entanto, a classificação do CV é muito abrangente e não leva em consideração as distinções de cada variável analisada, sendo necessária uma escala específica das variáveis (Fritsche-Neto et al., 2012). As variáveis apresentaram os valores de média e a mediana próximos. Este fato indica uma tendência central, o que demonstra boa qualidade na avaliação.

A E1 mostrou-se menos eficiente na colheita, pois o trator apresentou problemas na caixa de marchas, o que fez com que a velocidade de trabalho diminuísse fato que prejudicou a eficiência da ensiladora, destaca-se que o problema ocorreu no trator. Por vias de estudo de caso, este problema é de comum ocorrência, por isso é importante que o produtor tenha suas máquinas revisadas, e segundo plano, para não ser prejudicado com atraso na colheita, por exemplo.

O maior valor de ECol foi atribuído a E2, mostrando que 81% do tempo total foi destinado para colheita e manobras. No entanto, justifica-se a queda na porcentagem da EC da E2 devido as esperas por vagões e pausas do operador por motivos fora do trabalho, que podem ser observadas nas cartas de controle de tempo de paradas da máquina.

No cálculo da EC destaque para a E3, sendo justificável, já que esta ensiladora esteve ativa por mais tempo e em maior velocidade de deslocamento. Por outro lado, a E3 colhe uma linha por vez, comparando eficiência de campo (EC), esta obteve melhor eficiência que uma colhedora de duas linhas, neste estudo. No entanto, frisa-se que a E2 teve seu desempenho prejudicado com a falta de vagões.

A EC evidencia que a E3 como maior qualidade de operação, ou seja, menor variabilidade e estabilidade dos dados quando observamos as medidas de dispersão dos dados como desvio padrão.

Os menores valores de TM e TP contribuíram com o resultado como podemos observar nas Figuras 5b e 5c.

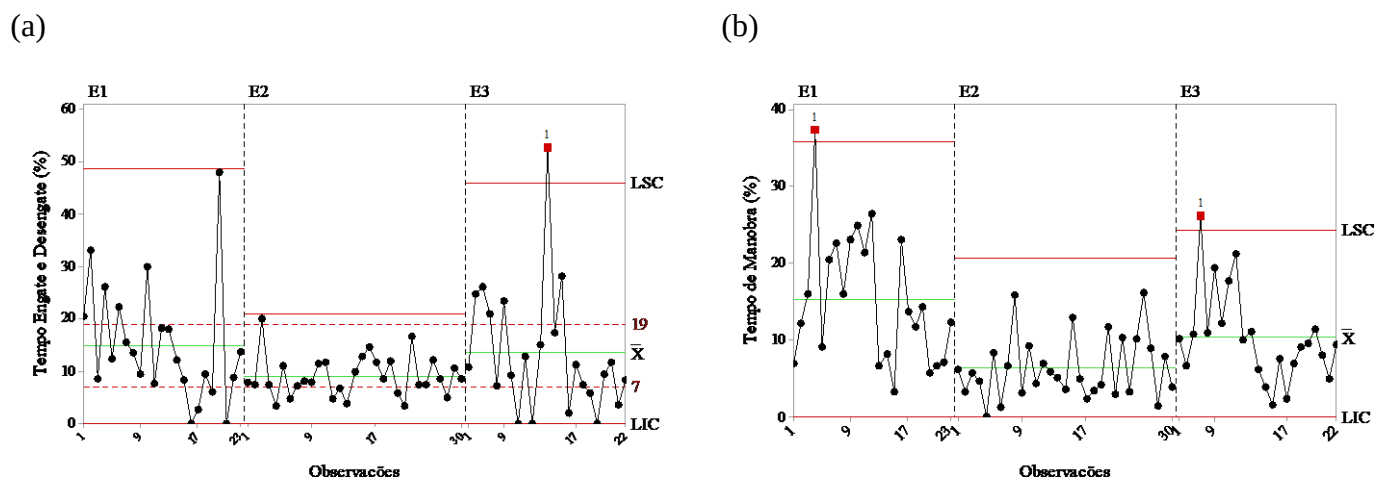


Figura 5. Cartas de controle de valores individuais para (a) Tempo engate e desengate (%), (b) Tempo de manobra (%) na colheita mecanizada de milho para as colhedoras E1, E2 e E3.

Avaliando as cartas de controle para tempos de engate e desengate (Figura 5a), observa-se que seis pontos se situaram acima da média de 7 a 19% do tempo de colheita total definida por Harrigan (2003) para E1 e E3, isto é 26% dos dados coletados excederam a média. Enquanto para E2, apenas 3,33%, foram maiores que a média, também se nota que vários pontos estão abaixo da média, o que é favorável, pois são menores tempos perdidos, mostrando que é necessário maior atenção por parte dos operadores com as ensiladoras de uma linha a fim de evitar este atraso. Uma das formas de melhorar esse parâmetro é treinamento de quem faz o acoplamento e desacoplamento para facilitar o serviço.

O indicador de qualidade TM (Figura 5b), apresentou maior dispersão dos dados e amplitude dos dados para E1. Os pontos fora de controle podem configurar manobras de vértice de talhão.

Nota-se que houve oscilação nos pontos, sendo alternado um ponto baixo, menor tempo de manobra, seguido de um ponto alto, maior tempo de manobra, este comportamento pode ser atribuído à disposição da área experimental, a qual tinha de um lado o carreador mais

largo, possibilitando uma manobra mais fácil, e de outro lado um carreador mais estreito que gerou maior dificuldade de manobra para o operador, e por tanto maior demora.

Diante deste acontecimento pode-se pensar no planejamento prévio dos carreadores, poderia se pensar até em aumentar a largura do carreador, que diminuiria a área semeada, no entanto facilitando as manobras e diminuindo o pisoteio no talhão, seria necessária uma análise agrônômica/econômica de cada situação.

A E2 apresentou uma diferença na média de até 50% abaixo do tempo de manobras das outras colhedoras e obteve maior qualidade de processo expresso pela menor variabilidade dos dados. Já E1 apresentou maior variabilidade e maior média dos tempos de manobra, utilizando em média 15% do tempo da colheita total, realizando manobras. Enquanto E2 obteve uma média de 6%, e a E3, 10% do tempo total de colheita. As manobras são tempos necessários para o andamento do processo, no entanto, devem ser os menores possíveis, neste aspecto é necessário a análise previa de qual a melhor opção do formato do talhão.

As ensiladoras 1 e 3 apresentaram causas especiais devido à se tratar de várias manobras próximas a cerca, esses valores fizeram com que o tempo médio de manobras aumentasse, variando de uma para a outra colhedora de uma linha. Outro fator observado responsável por aumentar o tempo de manobra das colhedoras de uma linha, é a manobra com o vagão cheio, que atribui maior dificuldade a manobra.

A E2, no entanto, não manobrava com o vagão cheio devido a sua alta velocidade de enchimento do vagão, de modo que ao final da linha de colheita, era necessário trocar o vagão na maioria das vezes. Pelos fatos apresentados pode-se dizer que o comprimento do talhão se torna fundamental para a eficiência do processo, no entanto trabalhar com máquinas e equipamentos distintos em uma mesma área acaba ficando difícil encontrar um denominador comum.

A carta de controle também permitiu visualizar melhora nos tempos de manobra a partir da metade do processo para E3, em que na primeira parte, TM representa mais que 10% do tempo da colheita e depois caiu para menos que 10%, podendo ser justificável pelo término das manobras de vértices ou por “tiros” mais longos da ensiladora, o que comprova a necessidade da sistematização, ou seja, correção da formatação dos talhões e carregadores.

A partir das observações de campo sugere-se que a porcentagem do tempo de manobra para colheita de milho para silagem com ensiladoras montadas não ultrapasse 10%. Desta forma, observou-se que 35%, 74% e 63% dos pontos encontram-se abaixo de 10%, para E1, E2 e E3, respectivamente.

A análise de tempo de paradas (TP) (Figura 5c), comprova a variabilidade de tempo da E2, observada na EC. Nesta análise, E3 obteve menor média e variabilidade no processo podendo ser visto pela amplitude dos dados. Além disso, segundo Harrigan (2003), o tempo utilizado para paradas em uma colheita de silagem, utilizando ensiladoras acopladas em tratores, é equivalente a 11% do tempo total de colheita. Entre os dados coletados neste trabalho, a porcentagem de pontos acima deste valor foi de 39%, 50% e 13% para E1, E2 e E3, respectivamente, sendo os valores médios de 25, 28 e 17%, superiores ao valor de Harrigan (2003).

(c)

(d)

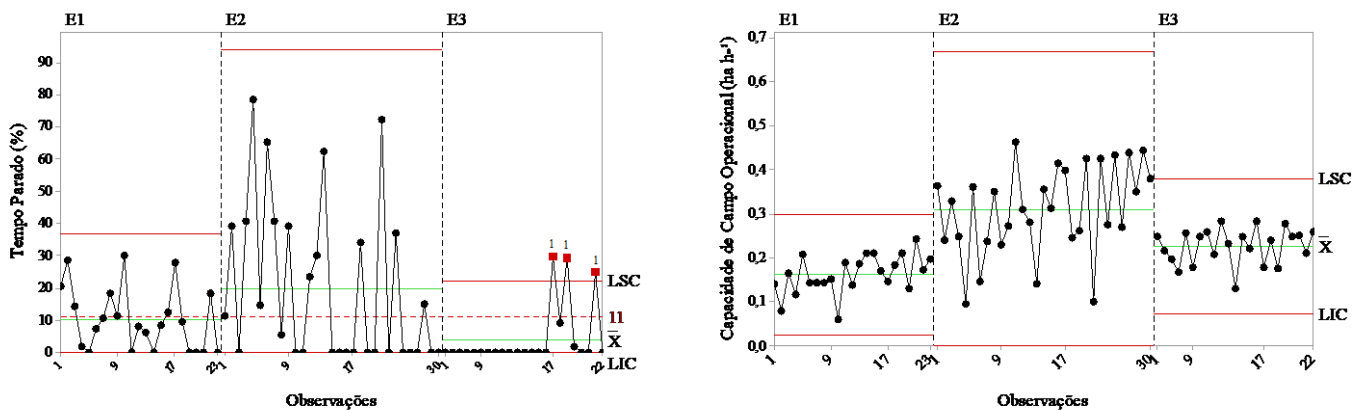


Figura 6. Cartas de controle de valores individuais para (c) Tempo Parado (%) e (d) Capacidade de Campo Operacional (ha h^{-1}) na colheita mecanizada de milho para as colhedoras E1, E2 e E3.

O tempo de paradas, neste trabalho, não contou com quebra das ensiladoras, pois não aconteceu nenhuma durante o tempo analisado. Observa-se que E2 obteve maior porcentagem de TP, no entanto, a maior parte do tempo, o problema era a espera de vagões vazios, visto que esta ensiladora obteve menores tempos de enchimento dos vagões por maior taxa de alimentação. Sendo assim, necessita-se de um melhor dimensionamento da frota para a ensiladora de duas linhas, para diminuir a espera por vagões e aumentar a eficiência de colheita.

As cartas de TP mostram oscilação dos pontos, atribuído à espera de vagões e pausas do operador. Os vagões se revezavam constantemente para transportar a silagem até o silo, dessa forma, enquanto a colhedora enchia um vagão, o outro, já cheio, transportava a silagem. Ocorre que, por vezes o vagão levava mais tempo para chegar do silo, o que ocasionou os períodos inativos das ensiladoras. Neste quesito, para o cálculo da quantidade de vagões deve-se levar em conta a distância até os silos, que em muitos casos ficam distantes.

A ensiladora E3 apresentou a menor média, baixa variabilidade dos dados, devido a baixas porcentagens de manobras e paradas que observamos. Sendo a colhedora que obteve melhor qualidade de processo, por apresentar os limites mais próximos e baixa variabilidade.

Na Figura 5d é apresentada a carta de controle para o indicador Capacidade de Campo Operacional (CCO), em que E2 apresentou maior média e maior variabilidade. No entanto, há pontos com valores menores devido ter ocorrido maior tempo de paradas e manobras. Tal fato decorreu do rápido enchimento do vagão, pois a ensiladora utilizada tem maior taxa de alimentação, todavia, não havia outro vagão na espera, o que contribuiu para a diminuição da CCO.

Os resultados médios da análise operacional de cada ensiladora estão apresentados na Tabela 6. A E2 apresentou as melhores médias para CCO, como visto na carta de controle, e consequentemente CCE e ECol, pois colhe simultaneamente duas linhas, o dobro das demais.

Tabela 6. Resultados médios para as ensiladoras E1, E2 e E3 para as variáveis RO:

Ritmo Operacional; ECol: Eficiência de campo; CCE: Capacidade de campo efetiva;

CCO: Capacidade de campo operacional; NC: número de conjuntos; CCh: Consumo de combustível por hora; CCa: Consumo de combustível por área colhida; CP: Quantidade de forragem colhida por hora; CQC: Consumo de combustível por quantidade de

forragem colhida; CO: Custo Operacional da tonelada colhida por hora.

	RO	ECol	CCO	CCE	NC	CCh	CCa	CP	CQC	CO
	ha h ⁻¹	%	ha h ⁻¹	ha h ⁻¹	un.	L h ⁻¹	L ha ⁻¹	t h ⁻¹	L t ⁻¹	R\$ t ⁻¹
E1	0,63	68,42	0,16	0,26	2,4	6,13	38,18	16,1	0,62	2,99
E2	0,63	81,01	0,31	0,49	1,3	12,81	46,23	17,2	1,31	7,46
E3	0,63	75,59	0,23	0,31	2	7,10	31,45	12,0	0,82	2,87

Para utilizar a ensiladora E2, há necessidade de um trator mais potente devido a sua necessidade de potência para colher $17,2 \text{ t h}^{-1}$. Por outro lado, E1 pode utilizar um trator menos potente, que será mais barato a aquisição, ter um consumo menor de combustível por hora (CCh) e colher $16,1 \text{ t h}^{-1}$, quantidade próxima à E2, ensiladora de duas linhas.

Com base nos tempos analisados, calculou-se o ritmo operacional (RO) estimado das ensiladoras de $0,63 \text{ ha h}^{-1}$ para colher a área total de estudo, cada conjunto, dentro da janela disponível.

Quando analisados os valores de CCE das colhedoras, verifica-se que a E3, com resultados de $0,31 \text{ ha h}^{-1}$ e $7,10 \text{ L h}^{-1}$, se mostrou eficiente com menor consumo de combustível por área colhida (CCa) de $31,45 \text{ L ha}^{-1}$.

A ECol pode indicar pontos de melhora no processo de colheita. No entanto, alguns fatores podem interferir diretamente de acordo com a operação, habilidade do operador, tempos de acoplamento, descarregamento, manobras, número de vagões.

Para melhor ECol, o dimensionamento correto de conjuntos (NC) das colhedoras pela área trabalhada deveria ser de duas E1, uma E2, ou duas E3 a fim de não haver subutilização das ensiladoras, pois máquina parada também gera custos. Além de maior atenção com o número de vagões que podem incrementar a eficiência operacional e reduzir o número de conjuntos necessários.

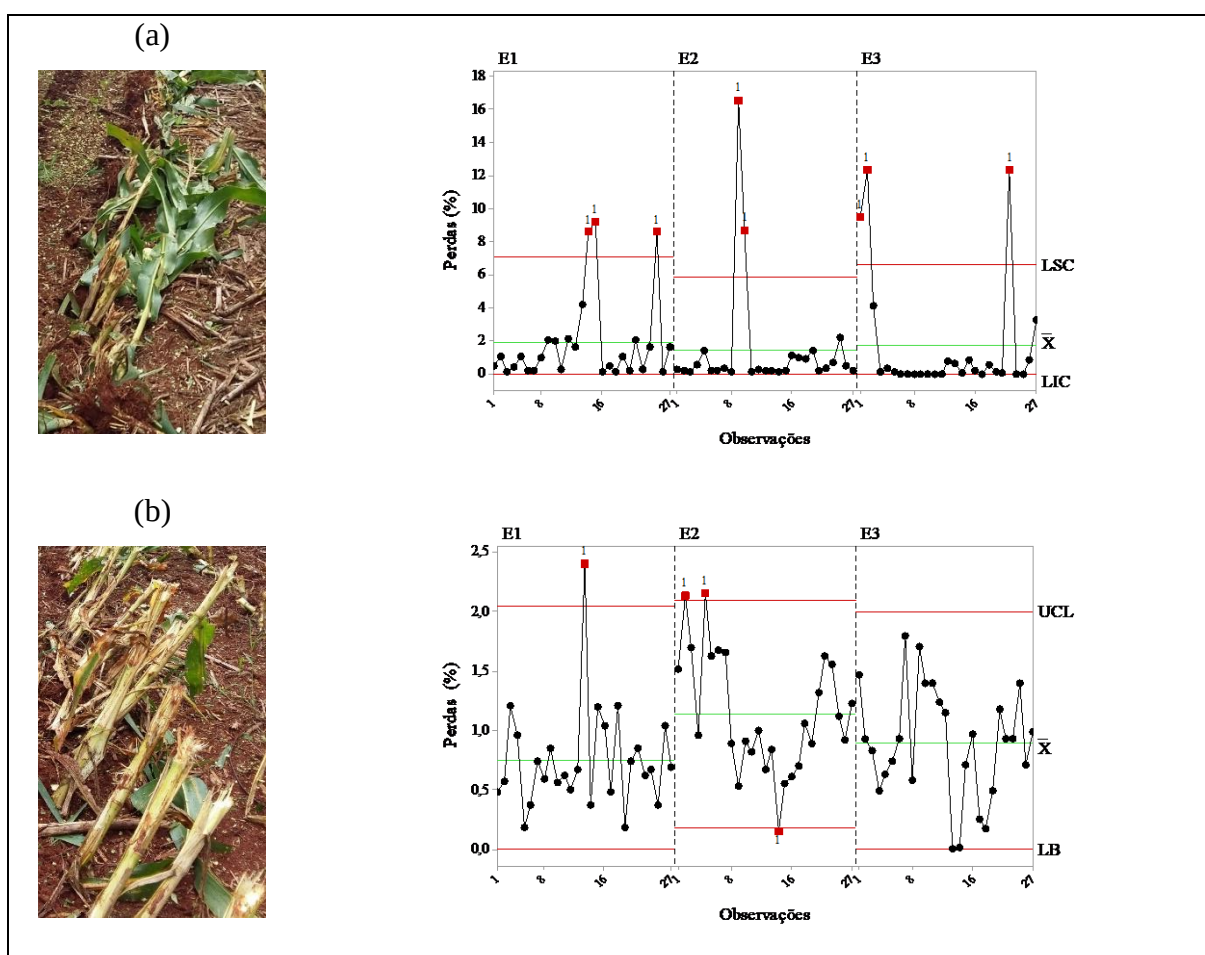
3.2. Análise de perdas na colheita

A produtividade de milho para silagem (Tabela 7) se manteve na média esperada, que varia entre 37,05 e 25,5 toneladas por hectare (Jobim, 2020). A massa de grãos foi maior que a média nacional de 6,4 toneladas por hectare (IEA, 2020). Considerou-se o teor de matéria seca bom, pois cultivares que apresentam entre 30 e 35% de MS do material ensilado proporcionam silagens de boa qualidade (Nussio, 1991).

Tabela 7. Produtividade da área da Fazenda de Ensino, Pesquisa e Extensão (FEPE) da Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias de Jaboticabal (FCAV-UNESP).

	Planta inteira	Grãos	Plantas
Massa Fresca (kg ha⁻¹)	42071,80	10949,89	31121,91
Teor Matéria Seca (%)	42,9	64,7	35,4

As cartas de controle de perdas na colheita mecanizada de milho para silagem mostram a quantidade dos três tipos de perdas em kg ha⁻¹ (Figura 7).



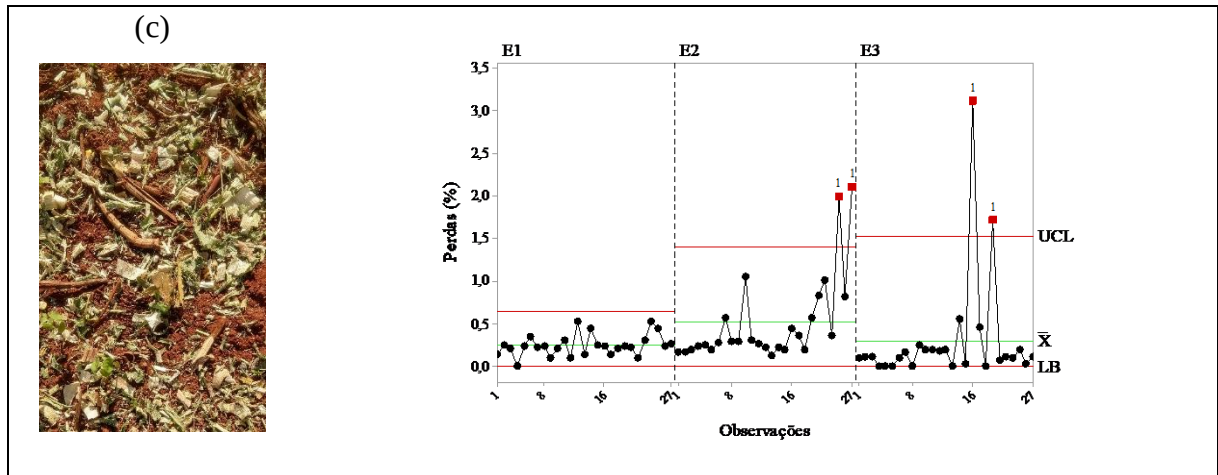


Figura 7. Cartas de controle de valores individuais para porcentagem de perdas na colheita mecanizada de milho para silagem do tipo (a) Remanescentes, (b) Altura do corte e (c) Silagem para as colhedoras E1, E2 e E3.

A E3 foi responsável pela maior quantidade de perdas remanescentes por deixar plantas inteiras na área. Esta ensiladora operou em maior velocidade devido a marcha e potência do trator pedidas no manual da ensiladora para colheita de silagem no tamanho de partículas maiores, desta forma, não conseguiu operar de maneira correta atropelando plantas inteiras na operação (Figura 7a).

Outro fator que ocasionou a perda de plantas inteiras, motivo dos pontos fora de controle são as falhas na sementeira, o que faz com que o operador tenha que trocar a linha da colheita e assim atropelando plantas neste processo. Esses fatores encaixam nos fatores 6 M's (mão de obra, meio ambiente, máquinas, métodos, metodologias e matéria prima).

A E2 apresentou menores perdas remanescentes (planta inteira) o que pode ser atribuído à menor velocidade de deslocamento que foi utilizada para ser possível um tamanho de partículas menores e pela exigência de marcha e potência especificados no manual da ensiladora. Este fato permitiu ao operador melhor capacidade de resposta a variações no trajeto. Em contrapartida, apresentou maior quantidade de perdas na altura de corte dos

colmos como podemos observar na Figura 7b. Estas perdas podem ter sido ocasionadas pela má regulagem na altura da plataforma de corte no momento de colheita ou dificuldade de controle da plataforma nas ondulações do terreno, deixando assim cortes desuniformes (Material Suplementar 2).

Na Figura 7c pode-se observar, que a E2 obteve maiores perdas de silagem, ou seja, material que foi colhido e picado, mas não alcançou o transbordo, neste contexto é fundamental ficar atento durante a colheita na regulagem dos lançadores do disco de corte, ou da bica de descarga e quebra-jato, mecanismo que auxilia no direcionamento do material que é lançado para os vagões.

A E2 foi a que obteve maiores quantidades de perdas totais de material fresco comparada as demais (Tabela 8). Observa-se que as médias das ensiladoras, para perdas totais, foram próximas, no entanto, as colhedoras que operaram com menor velocidade obtiveram menor quantidade de perdas.

Tabela 8. Análise descritiva para porcentagem de perdas totais de matéria fresca de silagem de milho.

	Média	σ	Var.	CV	Mín.	Mediana	Máx.	Amplitude
E1	2,90	2,76	7,64	95,31	0,98	1,58	10,65	9,66
E2	3,09	3,42	11,75	110,95	0,50	2,17	17,39	16,88
E3	2,92	3,71	13,76	127,05	0,58	1,58	13,42	12,83

4. DISCUSSÃO

O método de ensaio adotado neste experimento foi efetivo para a avaliação do desempenho operacional de colhedoras montadas; bem como, o sistema desenvolvido para a coleta de perdas na colheita é eficiente, porém demanda a disponibilidade de muitos colaboradores.

Ainda, vale ressaltar que as recomendações técnicas para produzir silagem de milho têm de ser seguidas com rigor, pois o custo por tonelada de matéria seca produzida é proporcional à quantidade de perdas no processo, ou seja, quanto maiores as perdas na cultura durante o processo, maior o custo por tonelada de silagem efetivamente convertida em leite e carne (Bernardes & Weinberg, 2013).

As informações beneficiam produtores que possuem colhedoras similares as utilizadas, além disso novos estudos podem ajudar a explicar variações de tempos e perdas em um talhão. O importante é conciliar rendimento, processamento e baixo custo da operação.

4.1. Desempenho Operacional

As ensiladoras apresentaram ECol e EC dentro da eficiência estimada por Silveira (2001) e Molin e Milan (2002), que preconizam um percentual de eficiência operacional de 70 a 90%.

A variável TE para as ensiladoras E1 e E3 sofreram influência negativa da falta de mão de obra treinada para a operação. Em estudo realizado por Bernardes e Do Rêgo (2014), os agricultores relataram a falta de mão de obra para qualquer tipo de serviço ou a falta de mão de obra qualificada para determinadas operações como sendo um dos principais problemas da baixa eficiência.

O TM das ensiladoras 1 e 3 foram mais influenciados por manobras de cabeceira e a dificuldade de manobrar, do que a E2. Muito embora, não existam estudos que relatam a porcentagem média para manobras na colheita de silagem, há um estudo com colhedora de arroz irrigado que demonstrou manobras de descarga consumindo em média 11% do tempo total (Araldi et al., 2013), sendo próximo ao tempo de manobra deste trabalho. Ainda, segundo os autores, quando possível, deve-se evitar efetuar manobras nos vértices das

lavouras, pois, mesmo que se perca em eficiência da barra de corte, otimiza-se a eficiência de campo.

O TP foi influenciado pela espera por vagões vazios neste estudo. Segundo Gomides (2013), o cálculo de vagões não é muito discutido, e deve-se levar em consideração o tempo médio de enchimento de uma carreta e o tempo gasto na viagem para descarregamento e retorno da carreta. Assim, a quantidade de carretas deve ser igual ao tempo gasto na viagem dividido pelo tempo de enchimento de uma carreta, mais um. Com base neste cálculo, é possível planejar o número de vagões e tratores necessários para se evitar a paralisação da colheita e aumentar a eficiência de utilização dos maquinários diminuindo o tempo de descarregamento e de viagem da carreta.

No presente estudo, o tempo médio de viagem do vagão ao silo foi de 20 minutos em uma distância de 2,4 km, já os tempos de enchimento dos vagões foram de 25, 15 e 20 minutos para E1, E2 e E3, respectivamente. Desta forma, segundo o cálculo proposto por Gomides (2013), seriam necessários dois vagões para cada ensiladora. Ocorre que na colheita havia disponível quatro vagões, constatando-se, assim, a necessidade de aumentar dois vagões para completar o total de seis e então evitar a espera das ensiladoras.

De acordo com Daniel et al. (2011) o gasto com maquinários durante a colheita, transporte e armazenamento representa mais de 20% do custo total da silagem. Contudo, o sucesso da utilização dos equipamentos está na qualificação e conscientização da mão de obra operacional, pois a regulagem e a manutenção destes equipamentos (como por exemplo, o ajuste e afiamento do conjunto faca e contra faca duas vezes ao dia) dependem do treinamento e grau de comprometimento dos operadores, além de serem tarefas imprescindíveis para à confecção de uma silagem adequada.

Apesar da E1 e E2 terem colhido maior quantidade de silagem de milho e com menores índices de perdas na colheita, a E3 teve maior EC para a colheita de milho para silagem neste experimento, com velocidade de $3,5 \text{ km h}^{-1}$ possivelmente devido a escolha de menores tamanhos de partículas escolhido para cada ensiladora e estratégia. Pois para menores velocidades o tamanho de partícula sai menor e para maiores velocidades este tamanho irá aumentar.

Em um estudo conduzido por Garbuio et al., 2008, sobre velocidades de colheita de silagem, quando se trabalhou com as velocidades mais baixas de $3,4$ e $5,6 \text{ km h}^{-1}$, os dispositivos de recolhimento e corte da colhedora de forragem exerceram sua real função, sem apresentar diferença dos tamanhos de corte. Contudo, com o aumento da velocidade ($7,3$; $8,3$ e $10,8 \text{ km h}^{-1}$), aumentou-se o volume de material colhido por unidade de tempo, ocorrendo acréscimo na fragmentação pelo fato de limitar o mecanismo de alimentação em executar sua função. Logo, com base neste estudo, conclui-se que é possível melhorar a eficiência de colheita dos conjuntos estudados com pequeno acréscimo na velocidade de deslocamento.

Nota-se, que de modo geral, que a falta de vagões prejudicou a eficiência de trabalho das ensiladoras. Segundo Mascarin e Zylberztajn, (2016), sistemas superdimensionados, acarretam um custo maior no final devido a subutilização dos equipamentos, e o contrário pode causar problemas nas operações mecanizadas e prejuízos na qualidade e produção total.

Embora os sistemas de colheita estivessem mal dimensionados, os resultados encontrados neste trabalho de capacidade de campo efetiva e consumo de combustível horário para a E1 e E3 foram próximos aos encontrados por Seki et al. (2009), que estudando a demanda energética de uma ensiladora, obtiveram resultados de $0,21 \text{ ha h}^{-1}$, $7,40 \text{ L h}^{-1}$ e $34,25 \text{ L ha}^{-1}$ para CCE, CCh e CCa, respectivamente, para colheita de planta inteira. Sendo que a velocidade de deslocamento interferiu positivamente na CCE e na EC.

As capacidades efetivas variaram em função das velocidades de colheita das ensiladoras, pois o tempo de colheita diminuiu com o aumento da velocidade de deslocamento das ensiladoras. O motivo das ensiladoras trabalharem em velocidades diferentes foi para obter e manter os tamanhos de partículas desejados dentro das condições de campo e maquinário disponível. Assim, sendo a quantidade de material colhido aumentou proporcionalmente para cada ensiladora, visto que estas trabalhavam nas mesmas condições, ou seja, a produtividade da lavoura semelhante.

Em outro estudo, com ensiladoras mantendo a velocidade de deslocamento, Mathanker et al. (2015) encontraram que a capacidade efetiva da máquina teve relação diretamente proporcional à produtividade da área e que, variando de acordo com a produtividade agrícola colhida. Desta forma, a produtividade da área e a velocidade são fatores que podem afetar a CCE.

Apesar da E3 ter apresentado maior ECol, a E2, seguida da E1, apresentaram maior quantidade de material colhido por hora (CP). Sendo que, segundo Mialhe (1996), a quantidade de trabalho deve ser mensurada pela quantidade de material colhido, entendendo-se que capacidade de trabalho é sinônimo de capacidade de colheita.

O fluxo de material colhido pode ser afetado pelo corte deficiente ou por meio da quantidade de lâminas do disco de corte, da afiação das lâminas, da contra faca entre outros, o que pode ocasionar mais ou menos perdas. Segundo estudo de Bernardes e Rêgo (2014), apenas 54,6% dos produtores de silagem de milho afiam as facas das ensiladoras diariamente.

Srivastava et al. (2006), correlacionando o corte uniforme e a redução do consumo de potência, relatam que fatores como a afiação, o afastamento angular entre as lâminas do rotor de corte, a distância entre as lâminas do rotor e a lâmina estática (contra faca) são essenciais. Ainda segundo os autores, as lâminas sem afiamento correto e o afastamento inadequado do

rotor de lâminas e da lâmina estática, aumentam extremamente as necessidades de energia para o corte, afetando adversamente o tamanho do fragmento produzido.

A maior demanda de potência leva ao maior consumo de combustível, o que pode ser observado na E2, pelo fato de colher duas linhas. Apesar disso, vale ressaltar que estas regulagens citadas são passíveis de ação antrópica, porém há poucos trabalhos referentes a este tema, o qual tem sua importância, visto que são parâmetros relevantes no desenvolvimento de forrageiras (Bianchini & Magalhães, 2004).

4.2. Análise de perdas na colheita

Os valores obtidos da produtividade de milho para silagem mantiveram-se na média esperada, que varia entre 37,05 e 25,5 toneladas por hectare (Emater, 2020). No entanto, a massa de grãos foi maior que a média nacional de 6,4 toneladas por hectare (IEA, 2020).

As perdas na altura de corte indicam baixa qualidade do corte, as perdas do tipo silagem indicam a falta de sincronismo entre a bica de descarga e transbordo, ou material que pode ter sido levado pelo vento, enquanto as perdas de plantas inteiras ou remanescentes, indicam a falta de planejamento da semeadura ou regulagem do corte das colhedoras.

As perdas de silagem foram maiores para a E2, que ocorrem na passagem do material picado do tubo de descarga, sendo necessário a regulagem do quebra-jato para o transbordo, desta forma verifica-se que houve um descompasso no andamento da colheita. O que pode ocasionar perdas de silagem, é o lançamento deficiente, sendo a causa provável o desgaste de lançadores, baixa rotação da TDP ou até afiação das facas de corte (Nogueira, 2019). Ao passo que a E1 apresentou menor índice de perda de silagem, podendo ser por uma regulagem bem feita ou experiência do operador.

A E2 também apresentou a maior quantidade de perdas na altura de corte, o que não é viável para a produção. Os cortes desiguais podem ter sido ocasionados pelo desgaste da

contra faca ou serras de corte, muito comum de acontecer em maquinários antigos que são utilizados por agricultores em pequenas áreas ou primeiro cultivo (Boeing et al., 2017).

A altura de corte pode influenciar na produtividade da colheita e na inclusão de silagem na alimentação do bovino. Porém, avaliando a alimentação de gado leiteiro, Kuehn et al. (1997), não observaram diferença na produção de leite utilizando silagem de milho de planta inteira não processado de comprimento teórico de corte longo (0,87 cm) ou curto (0,32 cm).

Entretanto a altura de corte a 20 cm deve possibilitar a maior produtividade da lavoura, visto que o ganho na qualidade da silagem pela elevação da altura de corte não é economicamente justificado na maioria das propriedades do Brasil, salvo em condições em que a qualidade do alimento é o único objetivo (Gomides, 2013). Além disso, alguns autores estudando altura do corte e híbridos afirmam que mais importante que o aumento da altura de corte é a seleção de um híbrido de qualidade (Kennington et al., 2005; Oliveira et al., 2011).

A E3 trabalhou em maior velocidade de deslocamento ($3,5 \text{ km h}^{-1}$), contudo essa velocidade pode ter sido alcançada também, pela altura de corte trabalhada, que foi em média de 25 cm de altura, enquanto o estabelecido era de 20 cm. A altura do corte influencia na eficiência da operação, visto que quanto menor a altura, mais fibroso é o colmo. Bianchini & Magalhães (2004) salientam que a resistência máxima de corte é diretamente proporcional à densidade de matéria seca.

A E3 mostrou-se mais eficiente, no entanto obteve maiores perdas de remanescentes, podendo ser este, um dos motivos de maior velocidade e eficiência alcançada, pois encontrou menor resistência das plantas ao corte.

A E1 mostrou a menor eficiência, devido à baixa velocidade, no entanto colheu maiores quantidades de silagem, possivelmente por ter menor porcentagem de perdas. Testes de resistência à compressão em colmos de milho com 63 % de conteúdo de água, mostraram que

a taxa de deformação tem uma relação linear entre a máxima força para compressão e o diâmetro do colmo do milho. Sendo assim, a resistência ao corte aumenta quanto mais baixo se corta a planta de milho, pois a energia e a máxima força de corte são diretamente proporcionais à área da secção transversal e inversamente ao conteúdo de água do colmo (Prasad & Gupta, 1975). Motivo este, que pode ter influenciado na eficiência de trabalho desta colhedora.

As médias de perdas totais de material fresco das três colhedoras foram próximos a 1.200 kg ha⁻¹, correspondente a 2,90%, 3,10% e 2,92% de perdas da produção total ocasionadas pelas ensiladoras 1, 2 e 3, respectivamente. No entanto, durante a operação houve causas especiais que contribuíram para a variabilidade e aumento da média. Estas causas são atribuídas à erros na operação de colheita, como regulagem da altura de corte da plataforma da máquina e bica de descarga. As causas especiais em operações agrícolas podem estar ligadas a diversos fatores; que geram variabilidade, chamados de “6 m’s”, fatores como mão-de-obra, meio ambiente, máquina, métodos, medição e matéria-prima (Paixão et al, 2019).

Além disso, perdas de plantas inteiras (Remanescentes) podem ter sido provocadas por falhas na sementeira (Bernardes e Weinberg, 2013), sendo responsável pela maior quantidade de perdas (60%) entre os três tipos avaliados, para as três colhedoras, sendo o restante dividido entre 12% de silagem e 28% de perdas na altura de corte de colmos, no geral.

Por fim, para se calcular o valor perdido por conjunto considerou-se que a planta de milho em geral, é ensilada com 35% de matéria seca. Desse montante cerca de 50% são constituído por grãos. Então a cada tonelada têm-se cerca de 175 kg de grãos. Se considerarmos o preço de mercado, a saca de milho (60 kg) está com preço médio de R\$ 57,75 (R\$ 962,50/t) (CEPEA, 2020). Desse modo, considerando o valor de grãos presente na massa, o custo da tonelada seria de R\$ 168,43, o que pode ser chamado de “valor base”. Assim, com as

porcentagens de perdas totais encontradas, calcula-se que para uma área de 45,6 hectares e produtividade 42 t ha⁻¹, as ensiladoras E1, E2 e E3 teriam perdido em média aproximadamente R\$9.355,00; R\$9.968,00 e R\$9.419,00, respectivamente (o equivalente a \$2.942; \$3.134 e \$2.962, segundo BCB, 2018).

5. CONCLUSÕES

A escolha da ensiladora dependerá da estratégia de colheita que se deseja adotar, porém a E3 mostrou-se a mais eficiente para a operação quando avaliado o conjunto das variáveis deste estudo considerando a colheitabilidade (consumo de combustível por hora, área, e quantidade colhida, capacidade efetiva e operacional, eficiência, custo por hora e perdas).

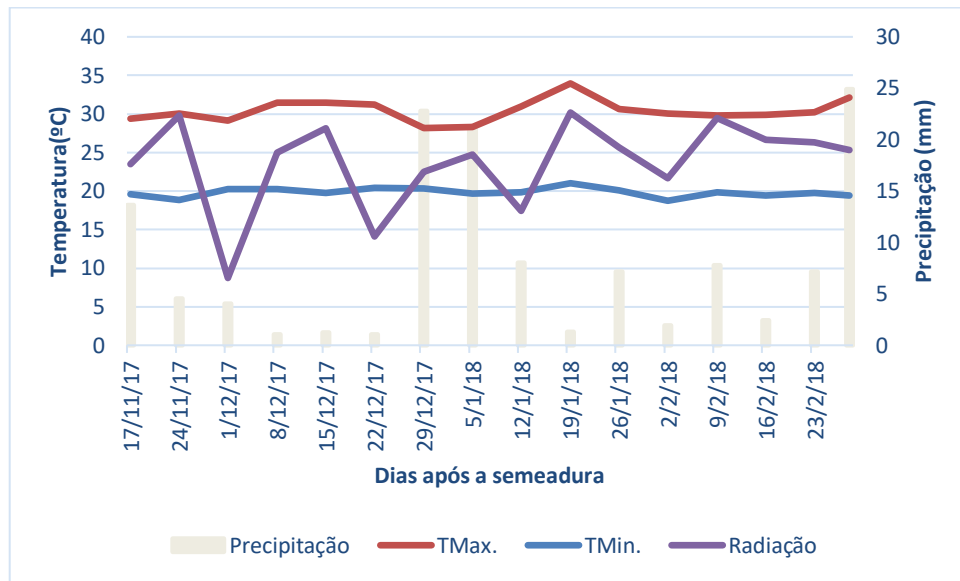
A velocidade mais alta beneficiou a eficiência da E3 mostrando ser viável trabalhar na velocidade avaliada de 3,5 km h⁻¹. No entanto, o treinamento dos operadores, bem como manutenção e regulagens diárias do maquinário é essencial para não prejudicar o desempenho das ensiladoras e qualidade do material colhido.

O número de vagões foi o fator mais prejudicial a eficiência das ensiladoras. Vale ressaltar a importância do dimensionamento adequado das ensiladoras e número de transbordos ou vagões antes do início da colheita para melhor desempenho da ensiladoras. A sistematização da área colhida é fundamental para diminuir as perdas em campo de ensiladoras montadas.

AGRADECIMENTOS

À agência Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pela bolsa concedida para realização desta pesquisa. À Fazenda de Ensino, Pesquisa e Extensão – FEPE / UNESP Jaboticabal (pela área experimental e pelo apoio à pesquisa).

MATERIAL SUPLEMENTAR



Material suplementar 1. Condições climáticas durante o desenvolvimento da safra de milho 2017/2018.



Material suplementar 2. Perdas na altura de corte dos colmos de milho da E2.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Agropecuária-Embrapa, E. B. D. P. (1999). Sistema brasileiro de classificação de solos. Rio de Janeiro, Produção de Informação. (In Portuguese, with English abstract.)
- Amaral, R.C., Santos, M.C; Daniel, J.L.P.; Neto, A. De S.; Bispo, A.W.; Cabezasgarcia, E.H.; Bernardes, T.F.; Nussio, L.G. (2014). The influence of covering methods on the nutritive value of corn silage for lactating dairy cows. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 43(9), 471-478.
- American Association of Cereal Chemists - AACC. Approved methods of the American Association of Cereal Chemists. 7.ed. St. Paul: 1976. 256p.
- Andrae, J. G., Hunt, C. W., Pritchard, G. T., Kennington, L. R., Harrison, J. H., Kezar, W., & Mahanna, W. (2001). Effect of hybrid, maturity, and mechanical processing of corn silage on intake and digestibility by beef cattle. *Journal of Animal Science*, 79(9), 2268-2275.
- Araldi, P. F., Schlosser, J. F., Frantz, U. G., Ribas, R. L., & dos Santos, P. M. (2013). Eficiência operacional na colheita mecanizada em lavouras de arroz irrigado. *Ciência Rural*, 43(3), 445-451.
- Bal, M. A., Shaver, R. D., Jirovec, A. G., Shinnors, K. J., & Coors, J. G. (2000). Crop processing and chop length of corn silage: Effects on intake, digestion, and milk production by dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 83(6), 1264-1273.
- BCB (Banco Central do Brasil) (2018). Cotações de Fechamento Ptax4/ do DOLAR DOS EUA, Código da Moeda: 220, Símbolo da Moeda: USD, Tipo da Moeda: A, período de 30/01/2018 a 31/01/2018. Disponível em <https://www4.bcb.gov.br/pec/taxas/port/ptaxnpesq.asp?frame=1> Acessado em 27 de maio de 2020.
- Bernardes, T.F., and A.C. Rêgo. 2014. Study on the practices of silage production and utilization on Brazilian dairy farms. *J. Dairy Sci.* 97:1852-1861.
- Bernardes, T.F.; Weinberg, Z. (2013). Aspectos Associados ao manejo da ensilagem. In: REIS, Ricardo Andrade; BERNARDES, Thiago Fernandes; SIQUEIRA, Gustavo Rezende. Forragicultura: Ciência, Tecnologia e Gestão dos Recursos Forrageiros. (In Portuguese) Jaboticabal: Gráfica Multipress, (42) 671-680. 201.
- Bianchini, A.; Magalhães, P. S. G. (2004) Comportamento da palha de cana-de-açúcar submetida ao corte por meio de ensaios de bancada. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, Campina Grande, 8, (2/3), 304-310.
- Boeing, E., Nunes, M. E., Chapla, M. E., Matte, W. D., Vale, W. G., & Branco, P. A. C. Indicadores críticos na colheita mecanizada de grãos e fibra. *Sci. Elec. Arch.* v. 10 (5), 2017.
- Carvalho, I. Q.; Jobim, C. C. (2013). Como reduzir as perdas? *Inforleite*, 35(1), 44-47. Disponível em: <http://www.ensilagem.com.br/wp-content/uploads/2013/04/RevistaInforleite_35_reservas_OK.pdf>. Acesso em: 22 de janeiro de 2019.

- Centro de Estudos Avançados em Economia Aplicada - CEPEA-Esalq/USP. (2020). Indicador Cepea/Esalq – Milho. Disponível em: <https://www.noticiasagricolas.com.br/cotacoes/milho> Acessado em: 18 de março de 2020.
- D’ Oliveira, P. S.; Oliveira, J. S. (2014). Produção de Silagem de Milho para Suplementação do Rebanho Leiteiro. Embrapa Comunicado técnico. Juiz de Fora-MG.
- Daniel, J.L.P.; Zopollatto, M.; Nussio, L.G. (2011). A escolha do volumoso suplementar na dieta de ruminantes. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 40, 261- 269.
- De Carvalho, I. Q. Tamanho de partículas em silagem de milho. 2011.
- Embrapa. (2021). Clima e solo. Embrapa Milho e Sorgo. Sistema de Produção, 1. 8ª edição. ISSN 1679-012X. Disponível em https://www.spo.cnptia.embrapa.br/conteudo?p_p_id=conteudoportlet_WAR_sistemasdeproducao6_1ga1ceportlet&p_p_lifecycle=0&p_p_state=normal&p_p_mode=view&p_p_col_id=column-1&p_p_col_count=1&p_r_p_-76293187_sistemaProducaoId=3821&p_r_p_-996514994_topicoId=3718 Acesso em 22 de fevereiro de 2021.
- Fritsche-Neto, R., Vieira, R. A., Scapim, C. A., Miranda, G. V., & Rezende, L. M. (2012). Updating the ranking of the coefficients of variation from maize experiments. *Acta Scientiarum. Agronomy*, 34(1), 99-101.
- Gago, J. S. N. (1988). Corte, carregamento e transporte de cana-de-açúcar: comparação de sistemas alternativos. SEMINÁRIO DE TECNOLOGIA AGRONÔMICA . (In Portuguese, with English abstract) 4, 431-92.
- Garbuio, P. W., Neto, P. H. W., Leão, K., Dalalibera, H. C., & De Souza, N. M. (2008). Regulagens e velocidades de uma colhedora de forragem na ensilagem de sorgo (*Sorghum bicolor* L. Moench). *Current Agricultural Science and Technology*, 14(2).
- Gomes, R. C.; Nunez, A. J. C.; Marino, C. T.; Medeiros, S. R. Estratégias alimentares para gado de corte: suplementação a pasto, semiconfinamento e confinamento. Embrapa Gado de Corte. 2015.
- Gomides, G. C. Fatores determinantes na ensilagem de milho: da colheita à utilização. Escola de Veterinária e Zootecnia. Universidade Federal de Goiás. Goiânia – GO, 2013.
- Harrigan, T. M. Time–motion analysis of corn silage harvest systems. (2003). American Society of Agricultural and Biological Engineers, St. Joseph, Michigan. *Applied Engineering in Agriculture*. 19(4): 389–395.
- Heinrichs, Jud; Kononoff, P. (1996). Evaluating particle size of forages and TMRs using the Penn State Particle Size Separator. The Pennsylvania State University, University Park, PA, 1-14.
- Igarasi, M. S. Controle de perdas na ensilagem de capim Tanzânia (*Panicum maximum* Jacq. cv. Tanzânia) sob os efeitos do teor de matéria seca, do tamanho de partícula, da estação do ano e da presença do inoculante bacteriano. 2002. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.
- Instituto econômico agrícola (IEA). Previsões e Estimativas das Safras Agrícolas do Estado de São Paulo, Ano Agrícola 2019/20, Junho de 2020. Acesso em: 18 de novembro de 2020. Disponível em: <http://www.iea.sp.gov.br/out/TerTexto.php?codTexto=14839>

- Jobim, C. C., Nussio, L. G., Reis, R. A., & Schmidt, P. (2007). Avanços metodológicos na avaliação da qualidade da forragem conservada. *Revista Brasileira de Zootecnia*. (In Portuguese, with English abstract.) 36, 101-119.
- Kennington, L. R., Hunt, C. W., Szasz, J. I., Grove, A. V., & Kezar, W. (2005). Effect of cutting height and genetics on composition, intake, and digestibility of corn silage by beef heifers. *Journal of animal science*, 83(6), 1445-1454.
- Krüger, A. M. Massa específica e suas implicações na conservação e no valor nutricional em silagens de milho. 2012. Dissertação de Mestrado. Universidade Estadual de Maringá. (In Portuguese, with English abstract.)
- Kuehn, C. S.; Linn, J. G.; Jung, H. G. Effect of corn silage chop length on intake, milk production, and rumen function in lactating dairy cows. 1997 Research Summaries, p. 83-84, 1997.
- Lammers, B.P.; Buckmaster, D.R.; Heinrichs, J. (1996). A simple method for the analysis of particle sizes of forage and total mixed rations. *Journal of Dairy Science*, v.79(5), 922-928.
- Mascarin, A.L.C., Zylberztajn, D. Estudo sobre os custos operacionais da colheita mecanizada na escolha dos arranjos institucionais. *Custos e agronegócio*, v. 12(2). 2016.
- Mathanker, S. K., T. E. Grift, And A. C. Hansen. 2015. Effect of blade oblique angle and cutting speed on cutting energy for energycane stems. *Biosystems Engineering* 133: 64–70.
- Mialhe, L. G. (1974). Manual de mecanização agrícola. Paulo: Ceres, 1974. 301 p.
- Mialhe, L. G. (1996) Used farm equipment: test and certification. Piracicaba: CNPq-PADCT/TIB; FEALQ, p. 600 – 650.
- MIALHE, L.G. Máquinas para colher cereais. Piracicaba: ESALQ, 1984. 66 p.
- MOLIN, J. P.; MILAN, M. Trator-implemento: dimensionamento. Capacidade operacional e custo. In: GONÇALVES, J. L. M.; STAPE, J. L. (ed.) Conservação e cultivo de solos para plantações florestais. Piracicaba: Instituto de Pesquisas Florestais, 2002. p. 409-436.
- NUSSIO, L.G. Cultura de milho para produção de silagem de alto valor alimentício. In: PEIXOTO, A.M. et al. In: SIMPÓSIO SOBRE NUTRIÇÃO DE BOVINOS, 4., 1991, Piracicaba. Anais... Piracicaba: Fundação de Estudos Agrários “Luiz de Queiroz”, 1991. p.59-168.
- Nussio, L.G.; Campos, F.P.; Dias, F.N. Importância da qualidade da porção vegetativa no valor alimentício da silagem de milho. In: SIMPÓSIO SOBRE PRODUÇÃO E UTILIZAÇÃO DE FORRAGENS CONSERVADAS, 2001, Maringá. Anais...Maringá: UEM, 2001.
- Oliveira, F. D., Jobim, C. C., Silva, M. D., Calixto Junior, M., Bumbieris Junior, V. H., & Roman, J. (2011). Produtividade e valor nutricional da silagem de híbridos de milho em diferentes alturas de colheita. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 40(4), 720-727.
- Pimentel-Gomes, F., & Garcia, C. H. (2002). Estatística aplicada a experimentos agrônômicos e florestais: exposição com exemplos e orientações para uso de aplicativos. Piracicaba: FEALQ.

- Prasad, J.; Gupta, C. (1975). Mechanical Properties of Maize Stalk as Related to Harvesting. *Journal of Agricultural Engineering Research*, 20 (1), 79-87
- Ramos, C. R. G. (2014). Qualidade da colheita mecanizada de cana-de-açúcar em função da velocidade de deslocamento e rotação do motor da colhedora. *Energia na Agricultura*, Botucatu, 29(2), 87-94.
- Resende, H., Oliveira, J., De Miranda, J. E. C., & Leite, J. (2017). Tecnologia e custo da silagem de milho. *Embrapa Gado de Leite-Circular Técnica*. Juiz de Fora - MG. 2017.
- Rinne, M.; Seppala, A. Particle size effects of forages on the ensiling process and animal performance. In: ANAIS DO II INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON FORAGE QUALITY AND CONSERVATION. [s.n.]. São Pedro-SP, 357P. p.233-256. 2011.
- Samohyl, R. W. (2009). Controle Estatístico de Qualidade. Ed. Campus, 275p Rio de Janeiro.
- Paixão, C. S. S., Damasceno, A. F., Voltarelli, M. A., Alcântara, A. S., Silva, R. P. (2019). Operational performance and losses in mechanized soybean harvesting as a function of field shape. *Comunicata Scientiae*, 10(2), 308-318. <https://doi.org/10.14295/cs.v10i2.2718>
- Seki, A. S., Benez, S. H., Silva, Paulo R. A., Yano, Élcio H., & Mello, Luiz M. M. (2009). Demanda energética nas operações mecanizadas na silagem de milho no sistema de "silo bag". *Engenharia Agrícola*, 29(3), 424-430. <https://doi.org/10.1590/S0100-69162009000300009>
- Silva, R.P.; Campos, M.A.O.; Mesquita, H.C.B.; Zabani, S. (2004). Perdas na colheita mecanizada de milho no Triângulo Mineiro e Alto Paranaíba-MG. *Fazu em Revista*, Uberaba. (In Portuguese, with English abstract), 1(1), 3-10.
- Silveira, G. M. Os cuidados com o trator. 1.ed., Viçosa: Aprenda Fácil Editora, 2001. 309 p. EMATER. Avaliação de produtividade e produção. Levantamento realizado em maio 2020. Safra de verão 2019/2020. Acesso em: 18 de novembro de 2020. Disponível em: http://www.emater.tche.br/site/arquivos_pdf/safra/safraTabela_21052020.pdf
- Soil Survey Staff. 2006. Soil taxonomy: Keys to Soil Taxonomy. 10ed. US Department of Agriculture (USDA), Natural Resources Conservation Service (NRCS). Government Printing Office, Washington, DC, USA.
- Srivastava, A.K., Goering, C.E., Rohrbach, R.P. Engineering principles of agricultural machines. St. Joseph, Michigan: American Society of Agricultural Engineers, 1993. 601p.
- Srivastava, A.K.; Goering, C.E.; Rohrbach, R.P.; Buckmaster, D.R. Hay and Forage Harvesting. In: ASAE. Engineering Principles of Agricultural Machines. St. Joseph: ASAE, 2006. cap. 11, p. 325-402.

CAPÍTULO 3 – COLHEITA MECANIZADA DE MILHO PARA SILAGEM COM ENSILADORA PROPELIDA

RESUMO

O monitoramento da colheita mecanizada de silagem milho é importante para detectar falhas na operação e contribuir para minimizar perdas que podem variar entre talhões de produtividades diferente. Dessa forma, para aumentar a eficiência da colheita é preciso estudar a operação. Neste contexto, objetivou-se monitorar a frota da colheita mecanizada de milho para silagem, utilizando-se uma ensiladora propelida em função da área, bem como quantificar as perdas da colheita. O experimento foi realizado no município de Jaboticabal, SP, Brasil. O delineamento experimental seguiu as premissas do controle estatístico de qualidade (CEQ), utilizando como ferramenta as cartas de controle de valores individuais. Os indicadores de qualidade analisados foram: Capacidade de campo operacional (CCO); Capacidade de campo efetiva (CCE); Tempo de manobra (TM); Tempo de paradas (TP), Eficiência de campo (EC), Perdas de Colmo e Perdas totais. A produtividade diferente das áreas influenciou nos resultados. O aumento da velocidade da colhedora foi benéfico na operação de colheita mecanizada de milho para silagem utilizando uma ensiladora propelida. Porém, é necessário adequar o dimensionamento da frota de caminhões para transporte da silagem. O aumento das perdas na colheita mecanizada teve influência da habilidade do operador, neste trabalho.

Palavras-chave: Eficiência de colheita; Desempenho Operacional; Forragem; Perdas.

ABSTRACT

Monitoring corn silage mechanized harvesting is important to detect operational failures and help minimize losses that may vary between plots of different yields. Thus, to increase harvest efficiency, it is necessary to study the operation. In this context, the objective was to monitor the fleet of mechanized corn harvesting for silage, using an area-propelled forage harvester, as well as to quantify harvest losses. The experiment was carried out in the city of Jaboticabal, SP, Brazil. The experimental design followed the premises of statistical quality control (CEQ),

using individual value control charts as a tool. The quality indicators analyzed were: operational field capacity (OCC); Effective field capacity (CCE); Maneuver Time (TM); Downtime (TP), Field Efficiency (EC), Thatch Losses and Total Losses. The different productivity of the areas influenced the results. The increase in harvester speed was beneficial in the mechanized corn harvesting operation for silage using a propelled forage harvester. However, it is necessary to adjust the dimensioning of the truck fleet to transport the silage. The increase in losses in mechanized harvesting influenced the operator's skill in this work. **Keywords:** Harvest efficiency; Operational Performance; Forage; Losses.

1. INTRODUÇÃO

A silagem de milho de planta inteira é um alimento volumoso de alto valor energético, custo compatível e ambientalmente correto quando bem manejada, pois possibilita a redução da proporção de concentrado na dieta, além de amenizar os efeitos negativos como a produção de metano e nitrogênio fecal excretado (Velho et al., 2006).

A colheita mecanizada de silagem no Brasil utiliza a ensiladora tracionada por trator em 90,4% das fazendas leiteiras, segundo estudo de Bernardes e Rêgo (2014). No entanto, as ensiladoras propelidas possuem algumas vantagens como: alta capacidade de colheita por hora trabalhada, função que regula tamanho teórico de partículas (importante nutricionalmente), processador de grãos e, ainda, a operação da ensiladora propelida independe da direção em que as linhas foram instaladas, o que auxilia no desempenho em campo (Bernardes e Weinberg, 2013).

Em contrapartida, o elevado desempenho dessas máquinas pode levar a problemas durante o abastecimento e a compactação da massa, pois o volume que chega ao silo acaba não sendo o ideal para manipulação, especialmente em silos de trincheira (Bernardes e Weinberg, 2013), o que torna possível obter silagem de baixa qualidade a partir de uma ensiladora de alta qualidade, se a tecnologia empregada não for adequada (Jobim et al., 2005).

As perdas de silagem desde a colheita até o consumo pelos animais, são de 21 a 34% (Carvalho e Jobim, 2013). Assim, apesar de se ter avanços em pesquisas sobre a qualidade da silagem de milho (D' Oliveira & Oliveira, 2014), há necessidade de estudos sobre a colheita mecanizada de silagem relacionada às condições operacionais dessas máquinas, regulagens dos mecanismos de recolhimento, picagem e transporte da máquina, influência da habilidade do operador, a fim de mitigar as perdas no processo de colheita mecanizada.

As perdas iniciais no processo de ensilagem ocorrem durante a colheita e picagem, e estas têm sido variadas em função do dia, da cultura, do tratamento que a forragem sofre e do tipo de equipamento. Em observações de campo, a deriva de material picado que não alcança o transbordo devido à velocidade do vento, tem colaboração com as perdas, principalmente durante o período do dia que mais venta (das 9 às 15 horas) (Bernardes e Weinberg, 2013).

Neste caso, a falta de acompanhamento técnico reduz a capacidade de colheita e aumenta o tempo e o custo gasto com operações (Krüger, 2012; Gomides et al, 2013), podendo resultar em prejuízo quando mal conduzido (Mialhe, 1984; Srivastava et al.,1993), devido vários fatores como: má escolha da janela de colheita, falta de escalonamento das áreas a serem colhidas, tipo do maquinário, número de ensiladoras por área, transbordos e regulagens e, conseqüentemente, ocasiona aumento na quantidade de perdas na produção, ainda que a produtividade da cultura tenha sido adequada.

Nesse sentido, para o funcionamento de qualquer sistema de produção, estes fatores devem manter-se num processo contínuo de qualidade total, que pressupõe planejamento, organização e coordenação das atividades, objetivando promover a obtenção de altos rendimentos, economia de recursos naturais renováveis e sem agredir o meio ambiente (Neumann et al., 2011).

É possível que por meio de gerenciamento estratégico do processo de colheita mecanizada de silagem de milho, haja melhor eficiência de trabalho, redução dos custos de produção e, ainda, diminuição das perdas. No entanto, não são conhecidos os maiores responsáveis pelas perdas na colheita, devido à escassez de estudos nessa área (Daniel et al., 2019).

Neste contexto, objetivou-se monitorar a frota da colheita mecanizada de milho para silagem, utilizando-se uma ensiladora propelida em função da área bem como quantificar as perdas da colheita mecanizada.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1. Área experimental

O trabalho foi desenvolvido em duas áreas de produção, localizadas próximas as coordenadas geodésicas 21°23' latitude Sul e 48°28' longitude Oeste, no município de Jaboticabal-SP. A área 1 com altitude média de 618 metros, declividade 2,7 % e tamanho total da área experimental colhida de 7,12 ha (Figura 1). A área 2 com altitude média de 599 metros, declividade 2,3 % e tamanho total da área experimental colhida é de 7,85 ha. As áreas apresentam clima Aw de acordo com classificação de Köppen. O solo é classificado como latossolo vermelho eutroférico e relevo suave ondulado (EMBRAPA, 1999).

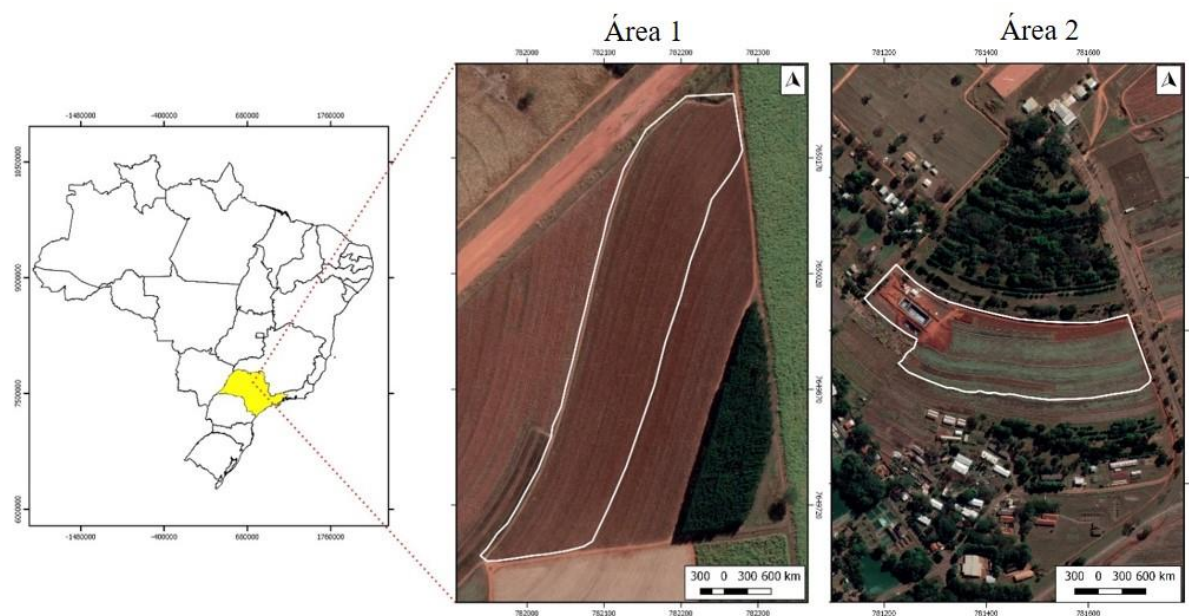


Figura 1. Áreas experimentais da Fazenda de Ensino, Pesquisa e Extensão (FEPE) da Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias de Jaboticabal (FCAV-UNESP).

A área 1 foi semeada dia 23 de outubro de 2018 e colhida aos 98 dias de maturação. A área 2 foi semeada dia 22 de outubro de 2018 e colhida aos 101 dias de maturação. Em ambas, utilizou-se o híbrido de milho P4285yhr, com espaçamento entre linhas de 0,45 metros com 3,5 sementes por metro, perfazendo uma população de 77.777,77 sementes ha^{-1} . Na adubação de semeadura foram utilizados 380 kg ha^{-1} da fórmula 04-28-8 NPK. Na adubação de cobertura foi feita a aplicação de 350 kg da fórmula 19-04-19 NPK em 22 de novembro de 2018.

Durante a safra, a temperatura média atingida foi de 25°C, sendo 37°C a máxima e 14°C a temperatura mínima. A radiação média foi 23,4 $\text{MJm}^2\text{dia}^{-1}$ e a precipitação média de 5,5 mm. Os dados climatológicos apresentaram-se dentro das condições ideais de desenvolvimento da cultura de acordo com Embrapa (2021) (Material Suplementar 1).

2.2. Caracterização da Produtividade

Para caracterização da área, as coletas das plantas de milho efetuaram-se dentro dos estádios fenológicos R4 e R5 (grão pastoso a farináceo), por meio da escolha aleatória de trinta

pontos amostrais em área total, constituídos das plantas presentes em um metro quadrado. As amostras coletadas foram georreferenciadas, pesadas e separadas para obter o material fresco: da planta inteira, das plantas sem os grãos e dos grãos somente.

Posteriormente, as amostras da parte vegetativa e as amostras de grãos foram acondicionadas em sacos de papel, levados à estufa de circulação forçada de ar a 105°C até atingir massa constante (AACC, 1976) para obtenção da massa de matéria seca. Separou-se parte das amostras de grãos para a determinação da umidade e peso de 100 grãos, a partir dessas análises foi obtido a massa verde e seca dos grãos e transformadas em kg ha^{-1} .

Logo após, transformou-se a média das massas frescas e secas da parte vegetativa obtidas da parcela em kg ha^{-1} .

2.3. Delineamento Experimental

Elaborou-se o delineamento experimental de acordo com o Controle Estatístico de Qualidade (CEQ). A avaliação do desempenho operacional realizou-se de forma temporal durante toda a colheita e para área avaliada. Os pontos amostrais foram considerados como sendo cada caminhão cheio de silagem.

A avaliação das perdas na colheita mecanizada de silagem de milho ocorreu de forma espacial, sendo que foram coletadas a cada 100 metros ao longo da linha de colheita seguida pela colhedora, 34 amostras, para cada área. Cada amostra, foi composta pelo material presente em uma armação de 6 metros de comprimento por 0,33 metros de largura, totalizando 2 m^2 , conforme mostra o croqui na Figura 2.

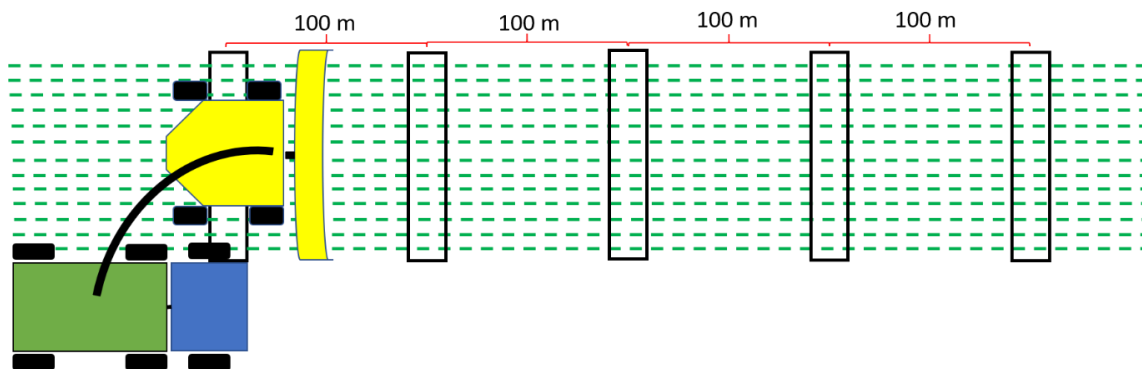


Figura 2. Croqui avaliação de perdas na colheita de silagem.

Desta forma, selecionou-se como ferramenta de análise as cartas de controle de valores individuais, pois permite o monitoramento da variabilidade ocorrente nos indicadores de qualidade durante o processo de colheita, tornando possível identificar qual área apresentou maior qualidade de processo, caracterizado pela menor variabilidade das variáveis.

Nesta pesquisa utilizaram-se os seguintes indicadores de qualidade para desempenho operacional: CCE: Capacidade de campo efetiva (ha h^{-1}); CCO: Capacidade de Campo Operacional (ha h^{-1}); CCT: Capacidade de Campo Teórica (ha h^{-1}); TM: Porcentagem do tempo destinado a tempo de manobra (%); TP: Porcentagem do tempo destinado a tempo de parada (%); EC: Eficiência de campo (%); RO: Ritmo Operacional; NC: número de conjuntos; CCh: Consumo de combustível por hora (L h^{-1}); CCa: Consumo de combustível por área colhida (L ha^{-1}); CQC: Consumo de combustível por quantidade de forragem colhida (L t^{-1}); CO: Custo Operacional da tonelada colhida por hora ($\text{R\$ t}^{-1}$); CM: Capacidade material ou vazão (t ha^{-1}) e indicadores de qualidade para análise de dois tipos de perdas: PC: Perdas na Altura de Corte dos Colmos (%) e PV: Perdas Vegetais (%).

2.4. Equipamentos

Foi avaliada uma ensiladora propelida modelo FR500 da marca New Holland ® com plataforma de seis metros de largura e flutuação automática (Figura 3). O modo de gerenciamento de motor ECO possui dois ajustes, uma faixa elevada na qual a rotação do motor

pode ser ajustada entre 2.100 e 1.950 rpm, ideal para capim de forração, e uma faixa baixa que varia de 1.850 e 1.700 rpm, a qual é perfeita ao trabalhar com milho. Sistema de dois rolos com perfil de dentes de serra (mm). Capacidade de diesel 1.400 litros.



Figura 3. Ensiladora propelida FR500 da marca New Holland ®.

Para transporte da silagem até o silo, utilizaram-se cinco caminhões basculantes, com dimensões do transbordo de: 3,00 m de comprimento, 2,40 m de largura e altura de 1,60 m a partir do chassi, volume de 11,52 m³.

Em cada ponto amostral das análises de perdas mediu-se: a velocidade do vento com aparelho anemômetro de mão da marca B-Max ®.

2.5. Desempenho Operacional

A colheita mecanizada do milho para silagem, neste estudo de caso, prosseguiu de modo habitual da fazenda. Durante este tempo, a colheita foi monitorada todos os dias, com anotações dos tempos de trabalho, manobras e paradas por caminhão cheio. Classificados de acordo com a Tabela 1.

Tabela 1. Classificação dos tempos realizados pelos conjuntos.

Tempos	Descrição
--------	-----------

Manobra (M)	Tempo necessário para manobrar o conjunto ensiladora entre linhas, medido o intervalo de tempo decorrido entre a pausa no funcionamento da colhedora no final de uma linha até que ela seja reposicionada no início de outra linha.
Paradas (P)	Tempo gasto reparando e limpando a máquina, mais o tempo necessário para resolver problemas imprevistos, como embuchamento da máquina, espera de carreta e paradas para as necessidades pessoais do operador.
Colheita (TC)	Tempo necessário para a operação de colheita do milho, medido o intervalo de tempo em que a colhedora permaneceu colhendo (tempo total).

Neste contexto, estabeleceu-se a velocidade de deslocamento da ensiladora pelos dados do monitor na hora das avaliações, de tamanho de partícula desejada, produtividade das áreas, declividade. Calculou-se o consumo de combustível pelo próprio sistema da ensiladora e os dados foram copiados do monitor, bem como o número de horas trabalhadas e a quantidade de diesel, sendo que a ensiladora começou a trabalhar utilizando a capacidade do tanque cheio.

Com base nas anotações de campo, calcularam-se os indicadores de qualidade abaixo:

A Capacidade de Campo Efetiva (CCE) foi calculada pela metodologia de Mialhe (1974), já a Capacidade de Campo Operacional (CCO), Capacidade de Campo Teórica (CCT) e o Tempo de Manobra (TM) foram calculadas de acordo com Mialhe (1996), pelas equações 1, 2, 3 e 4, respectivamente.

$$CCE = \frac{\text{Área trabalhada}}{TC} \quad (1)$$

Em que: CCE: Capacidade de Campo Efetiva (ha h⁻¹); TC: Tempo de colheita (h).

$$CCO = \frac{\text{Área trabalhada}}{\text{Tempo total}} \quad (2)$$

Em que: CCO: Capacidade de Campo Operacional (ha h⁻¹).

$$CCT = \frac{\text{Área teórica trabalhada} \times VC}{10} \quad (3)$$

Em que: CCT: Capacidade de Campo Teórica (ha h⁻¹), VC: Velocidade de deslocamento da colhedora.

$$TM (\%) = \frac{M}{TC+M+P+ED} \times 100 \quad (4)$$

Em que: TM: Porcentagem do tempo destinado a tempo de manobra (%); M: Manobras (h); TC: Tempo de colheita (h); ED: Engate/desengate (h); P: Paradas (h).

O tempo de paradas (TP) (%), foi calculado pelo tempo de manutenção mais tempos de problemas (Equação 5), (Mialhe, 1996).

$$TP (\%) = \frac{P}{TC+M+P+ED} \times 100 \quad (5)$$

Em que: TP: Porcentagem do tempo destinado a tempo de paradas (%).

A equação 6 utilizada para calcular a Eficiência de campo (EC) que indica o quanto do tempo total de campo disponível está sendo utilizado para a colheita (Gago, 1986) .

$$EC (\%) = \frac{TC}{TC+M+P} \times 100 \quad (6)$$

Em que: EC: Eficiência de campo (%), TC: Tempo de colheita (h), M: Manobras (h); P: Paradas (h).

A análise operacional realizou-se de acordo com a metodologia de Mialhe (1974). Foram calculados as médias para: o Ritmo Operacional (RO), o Número de Conjuntos (NC) necessários para atender a operação dentro do tempo disponível.

O Consumo de combustível por hora (CCh) e o Consumo de combustível por área colhida (CCa) correspondem as equações 7 e 8:

$$CCh = \frac{\text{Combustível utilizado}}{\text{Horas Trabalhadas}} \quad (7)$$

Em que: CCh = Consumo de combustível por hora (L h⁻¹);

$$CCa = \frac{\text{Combustível utilizado}}{\text{Área trabalhada}} \quad (8)$$

Em que: CCa= Consumo de combustível por área colhida (L ha⁻¹)

O cálculo do Consumo de combustível por quantidade de forragem colhida (L t⁻¹) para os conjuntos foi calculado pela equação 9:

$$CQC = \frac{Cc}{CP} \quad (9)$$

Em que: CQC: Consumo de combustível por quantidade colhida (L t⁻¹), Cc: Consumo de combustível L h⁻¹.

O custo de operacional dos conjuntos foi calculado por meio da equação 10:

$$CO = \frac{Cc \times 3,57}{CP} \quad (10)$$

Em que: CO: Custo Operacional da tonelada colhida por hora (R\$ t⁻¹).

Custo operacional gasto com óleo diesel em reais (R\$) para colher uma tonelada de silagem (R\$ t⁻¹), 3,57: Valor do óleo diesel na região no período experimental em janeiro de 2018 (R\$ l⁻¹); R\$ 3,57 = USD\$1,10 (BCB, 2019).

A capacidade material (CM), ou vazão, da ensiladora propelida foi obtida pela equação 11, conforme ASABE EP 496.3 (ASABE Standards, 2011).

$$CM = \frac{\frac{\text{Quantidade de silagem colhida}}{\text{Área}}}{CCE} \quad (11)$$

Em que: CM: Capacidade material ou vazão (t ha⁻¹).

2.6. Análise de Perdas na colheita

Coletou-se o material manualmente na superfície do solo, sendo peneirado e classificado em dois tipos de perdas: Perdas Vegetais (PV) - Material que não recolhido pela máquina (Figura 4A) somado com o material colhido, processado (picado), porém não carregado no

vagão (Figura 4B); e Perdas na Altura de Corte dos Colmos (PC) - Colmo remanescente acima da altura de corte pré-definida em 20 cm de altura (perdas por altura de corte), medindo-se diretamente a diferença nos colmos remanescentes no campo (Figura 4C).



A

B

C

Figura 4. Perdas na colheita mecanizada de milho para silagem. Perdas Vegetais: (A) Material que não foi recolhido pela máquina, somado a (B) Material colhido, processado (picado), porém não carregado no vagão; e (C) Perdas na altura de corte dos colmos.

Em cada ponto amostral das análises de perdas mediu-se: a velocidade de deslocamento da ensiladora com base nos dados do monitor da ensiladora, a velocidade do vento e feito o georreferenciamento dos pontos amostrais.

2.7. Análise estatística

Utilizaram-se parâmetros da estatística descritiva e do controle de estatístico de qualidade (CEQ), para analisar o desempenho operacional e as perdas na colheita mecanizada de milho para silagem, sendo que para a construção das cartas de valores individuais os indicadores de qualidade da operação da colheita mecanizada de milho para silagem foram: (CCE (ha h^{-1}); CCO (ha h^{-1}); CCT (ha h^{-1}); TM (%); PV, PC e PT (%), independentemente da

sua suposição de normalidade. Já, para a carta de controle TP (%) utilizou-se como limite específico de controle 11%, com base na metodologia de Harrigan (2003).

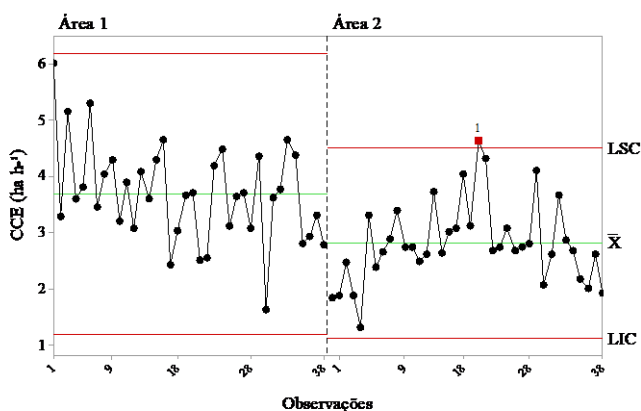
A análise da variabilidade da colheita mecanizada de milho foi monitorada utilizando cartas de controle individual (Individual charts), as quais contém gráfico correspondente aos valores individuais amostrados ponto a ponto. Esse tipo de carta permite avaliar a qualidade da operação, indicando por meio da variabilidade, os problemas como manobras mais demoradas, problemas nas regulagens, excesso de paradas ou de perdas, bem como sua causa.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

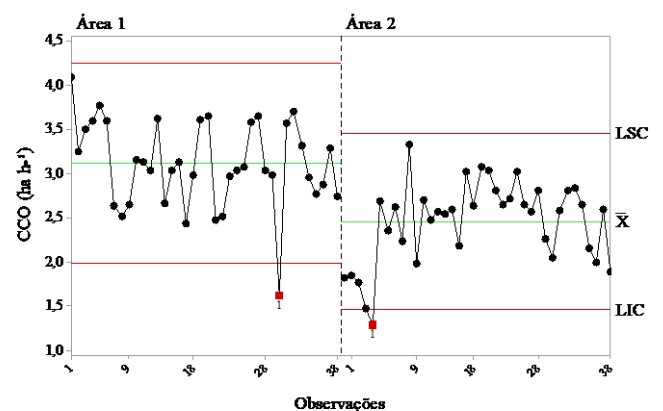
3.1. Desempenho Operacional

Na figura 5 são apresentadas as cartas de valores individuais para variáveis de desempenho operacional da máquina durante a colheita mecanizada de milho para silagem. Podemos observar que a Área 2 obteve menores valores e a menor variabilidade dos dados para capacidade de campo efetiva, operacional e teórica.

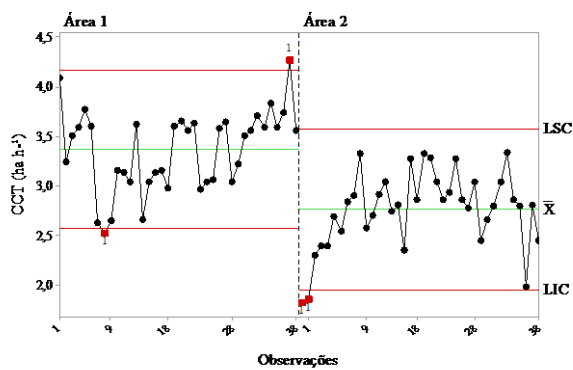
(a)



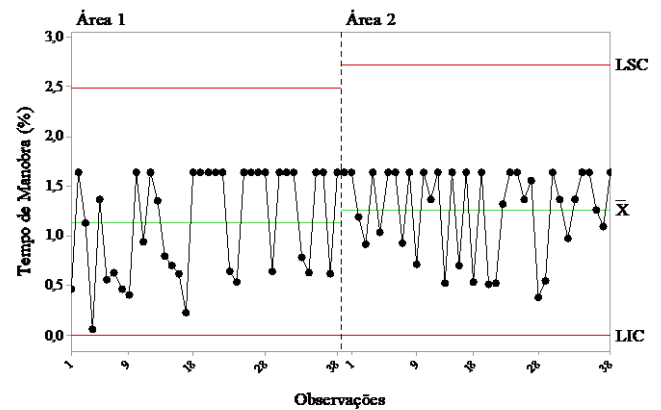
(b)



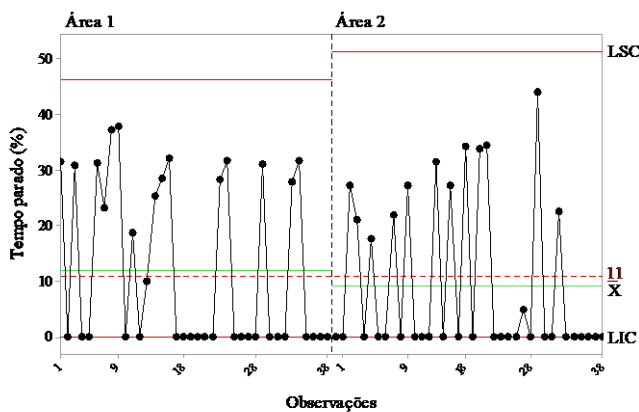
(c)



(d)



(e)



(f)

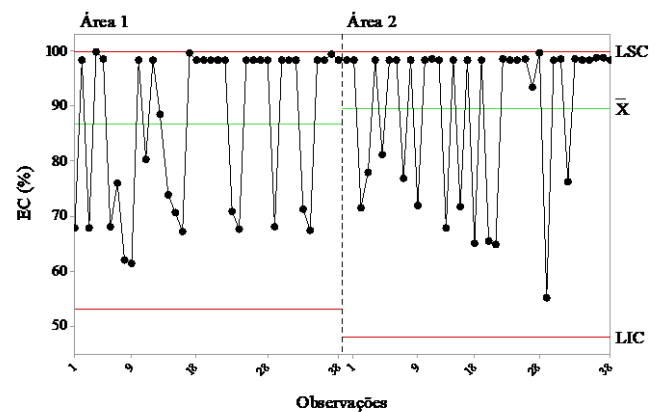


Figura 5. Cartas de controle de valores individuais para (a) CCE - Capacidade de Campo Efetiva (ha h^{-1}) (%), (b) CCO - Capacidade de Campo Operacional (ha h^{-1}), (c) CCT- Capacidade de Campo Teórica (ha h^{-1}), (d) Tempo de Manobra (%) (e) Tempo Parado (%) e (f) EC - Eficiência de campo (%), para a Área 1 e 2, na colheita mecanizada de milho para silagem.

As capacidades de campo (Figura 5a, 5b e 5c) mais baixas podem estar relacionadas a maior produtividade da área 2 (Tabela 3), quando comparado a área 1, devido ao maior fluxo de material colhido por unidade de tempo. Segundo Nogueira (2019), em geral, utiliza-se velocidades menores para culturas volumosas e/ou mais altas.

O TM apresentou-se baixo, sendo que quando comparadas as áreas, o TM foi maior para área 2, podendo estar relacionado a habilidade do operador em manobrar a máquina ou ainda a facilidade de operação oferecida pela colhedora. Vale ressaltar que o operador da colhedora foi o mesmo para as duas áreas.

O Tempo parado (TP) variou entre 0 e 50% do tempo total. Embora a média foi mantida entre 11%, próximo ao estimado por Harrigan (2003), por outro lado, a oscilação dos dados com amplitude de 50% constatou-se a necessidade de melhorar a operação. Cumpre observar que, neste caso, a falta de caminhões contribuiu para o aumento do tempo parado da máquina, consequentemente para a alta variabilidade.

Embora tenha obtido altas porcentagens de TP, a Eficiência de campo foi ótima para as duas áreas, apresentando média próxima aos 90%, e maior do que a Eficiência de campo esperada para forrageiras de 50% a 75% (Hunt et al., 2001).

Os resultados médios do desempenho operacional de cada área estão apresentados na Tabela 2. Para a quantidade de área a ser colhida deste estudo, uma ensiladora é o suficiente como podemos notar no cálculo de NC, e a EC teve um valor muito satisfatório. No entanto, em observações de campo, notamos que é possível aproveitar melhor ainda o tempo com o dimensionamento adequado da frota de caminhões transbordos.

Tabela 2. Resultados médios da análise de desempenho operacional para as ensiladoras E1, E2 e E3. RO: Ritmo Operacional; EC: Eficiência de campo; CCE: Capacidade de campo efetiva; CCO: Capacidade de campo operacional; NC: número de conjuntos; CCh: Consumo de combustível por hora; CCa: Consumo de combustível por área colhida; CQC: consumo de combustível por quantidade de forragem colhida; CO: Custo Operacional da tonelada colhida por hora; CM: Capacidade material por hora.

RO	EC	CCO	CCE	NC	CCh	CCa	CQC	CO	CM
----	----	-----	-----	----	-----	-----	-----	----	----

	ha h ⁻¹	%	ha h ⁻¹	ha h ⁻¹	un.	L h ⁻¹	L ha ⁻¹	L t ⁻¹	R\$ t ⁻¹	t h ⁻¹
A1	0,71	89,99	2,47	2,89	0,29	32,18	11.50	0,33	1,17	101.2
A2	0,79	89,54	2,49	2,45	0,32	32,89	13.51	0,32	1,15	102.9
Média	0,75	89,77	2,45	2,67	0,31	32,53	11.96	0,33	1,16	102.0

As variáveis médias CCh, CCa, CQC e CO mostraram valores dentro do esperado pelo manual da ensiladora utilizada (New Holland, 2021). Quanto a quantidade de caminhões transbordo da fazenda, observa-se um subdimensionamento da frota de máquinas na fazenda. Porém, deve-se ressaltar a condição especial da dependência de receber verba e suporte as atividades agrícolas como outros trabalhos de P&D, visto que a colheita foi realizada com mão de obra terceirizada.

Em estudo com gerenciamento de safra de silagem, considerando custo mínimo necessário para frota utilizando ensiladoras autopropelidas de 6 e 8 linhas, os tempos de espera para cada caminhão foram maiores para a ensiladora de 6 linhas (9,00% contra 8,16%), devido ao maior valor obtido do cálculo custo do caminhão dividido pelo custo da ensiladora que induziu a menor quantidade de caminhões para carregamento. Enquanto a ensiladora está esperando, a maioria dos caminhões está viajando, indicando que os atrasos raramente são causados por outros gargalos como empacotadores do silo (Amiama et al., 2015).

3.2. Perdas na Colheita

A produtividade de milho para silagem (Tabela 3) para a área 1 se manteve na média esperada, enquanto a área 2 obteve produtividade maior que a média, que varia entre 37,05 e 25,5 toneladas por hectare (Jobim, 2020). A massa de grãos foi maior que a média nacional de 6,4 toneladas por hectare (IEA, 2020). Considerou-se o teor de matéria seca bom, pois cultivares que apresentam de 40 a 50% de grãos na MS do material ensilado proporcionam silagens de boa qualidade (Faria, 1986).

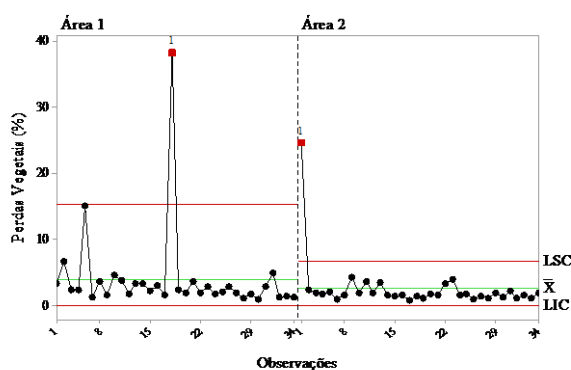
Tabela 3. Produtividade das áreas da Fazenda de Ensino, Pesquisa e Extensão (FEPE) da Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias de Jaboticabal (FCAV-UNESP).

Áreas	Produtividade	Parte vegetativa	Grãos	Planta inteira
Área 1	Massa (kg ha ⁻¹)	27301.59	7730.159	35031.75
	Teor Matéria Seca (%)	49.35	52.87	50.13
Área 2	Massa (kg ha ⁻¹)	32362.71	9577.267	41939.97
	Teor Matéria Seca (%)	47.81	54.19	49.27

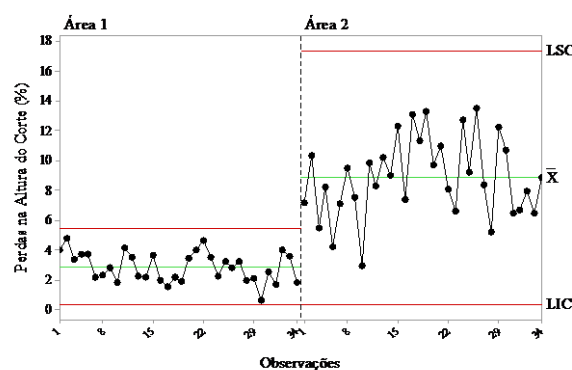
Na Figura 6 são apresentadas as cartas de valores individuais para variáveis de perdas na colheita mecanizada de milho para silagem. Observa-se pontos fora de controle na carta de perdas vegetais (Figura 6a), que se reflete na carta de perdas totais (Figura 6c). Esta variação está relacionada as perdas de silagem, ou seja, material vegetal já processado, que são lançadas para fora do transbordo por motivo de desencontro do lançador da colhedora para o transbordo do transporte.

Em estudo realizado em fazendas produtoras de silagem, agricultores relataram a baixa qualidade dos serviços terceirizados como o principal problema das operações, devido a pressa na realização do serviço e da falta de ajustes e regulagens adequados ao maquinário (Bernardes e Do Rêgo, 2014).

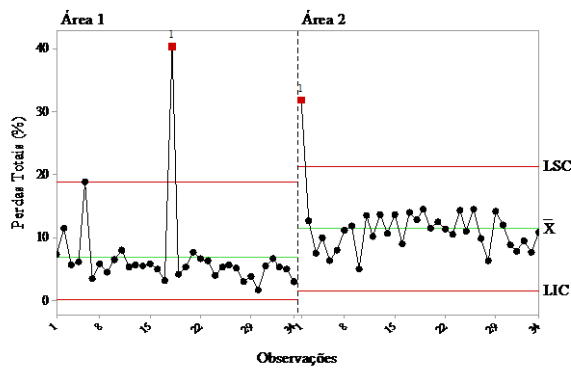
(a)



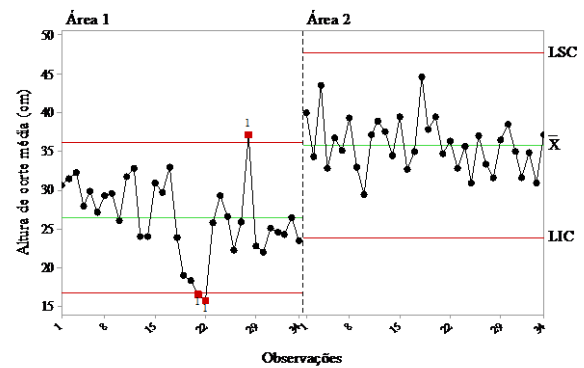
(b)



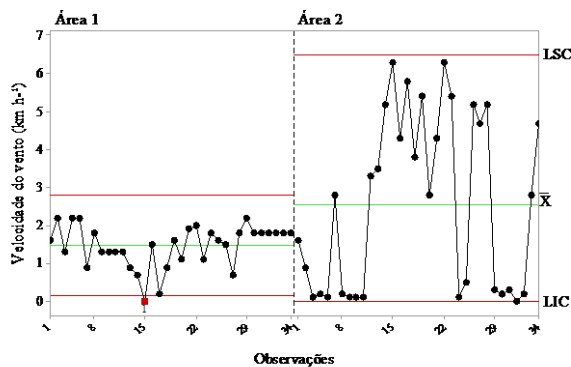
(c)



(d)



(e)



(f)

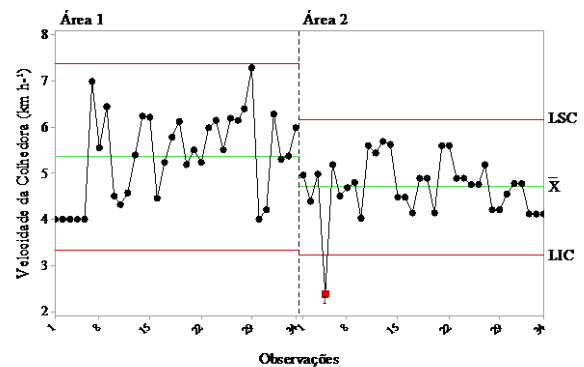


Figura 6. Cartas de controle de valores individuais para (a) Perdas Vegetais (%), (b) Perdas da Altura de Corte do Colmo (%), (c) Perdas Totais (%), (d) Altura de corte média (cm), (e) Velocidade do vento (km h^{-1}) e (f) Velocidade da colhedora (km h^{-1}) para a Área 1 e 2, na colheita mecanizada de milho para silagem.

Observa-se que a maior variação na carta de perdas na altura de corte dos colmos ocorreu na área 2 (Figura 6b), pois devido a largura mais estreita dos terraços e a inclinação da área, o operador encontrou dificuldades em posicionar a plataforma da colhedora e, conseqüentemente, cortes de colmos mais altos, como se pode observar na carta de altura de corte média dos colmos (Figura 6d). Nesta carta, a área 2 apresentou apenas um ponto dentro do desejável, enquanto a área 1 obteve 26 pontos acima do desejável.

Segundo Fancelli & Dourado Neto (2000), no momento da colheita a planta deve ser cortada a uma altura de 10 centímetros do solo, podendo, se preferir, efetuar o corte a uma altura mais elevada. A elevação na altura de corte diminui a participação de folhas e principalmente de colmo na massa ensilada, consequentemente aumentando a proporção de grãos (Restle et al., 2002). As silagens produzidas nessa situação apresentam características bromatológicas mais favoráveis à produção animal, com maior digestibilidade da matéria seca (Paziani et al., 2009).

A área 2 (Figura 6e) apresentou maior velocidade média do vento. No entanto, não foi possível saber se há alguma influência da velocidade do vento sobre as perdas de material picado por deriva, pois não se observaram perdas ocasionadas por deriva nas áreas avaliadas. Esperava-se que esta variável teria influência no aumento dessas perdas vegetais, porém a área 2 teve menor índice de perdas vegetais.

Em observações de campo, a deriva de material picado que não alcança o transbordo, em função da velocidade do vento, tem colaboração com as perdas, principalmente durante o período do dia que mais venta (das 9 às 15 horas) (Bernardes e Weinberg, 2013).

A velocidade da ensiladora apresentou maiores valores para a área 1, provavelmente devido a menor produtividade da área, o que proporcionou à colhedora menor fluxo de material (Figura 6f). Este fato pode estar relacionado com a maior quantidade de perdas vegetais na área 1, pois o caminhão não consegue acompanhar o elevador de descarga da máquina com precisão tendo perdas do material picado, por falta de atenção ou experiência dos motoristas, tal fator foi observado em campo como sendo um dos principais motivos.

Além disso, esporadicamente, quando em maior velocidade, a plataforma da colhedora derruba algumas plantas inteiras, motivo da ocorrência de pontos fora de controle. Nesse sentido, esta variação está relacionada as perdas do desencontro do lançador da colhedora para o transporte. Estudo realizado em fazendas produtoras de silagem, agricultores relataram a

baixa qualidade dos serviços terceirizados como o principal problema das operações, devido a pressa na realização do serviço e da falta de ajustes e regulagens adequados ao maquinário (Bernardes e Do Rêgo, 2014).

4. CONCLUSÕES

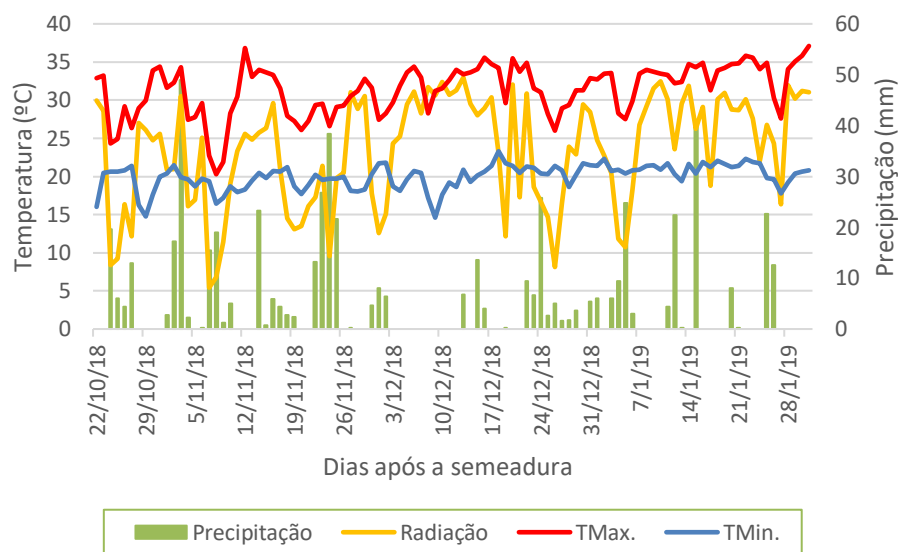
A produtividade mais alta das áreas influenciou nos resultados, diminuindo a capacidade de campo efetiva (CCE) para área de maior produção.

O aumento da velocidade da colhedora foi benéfico na operação de colheita mecanizada de milho para silagem utilizando uma colhedora autopropelida aumentando a CCE e diminuindo as perdas. Porém, é necessário adequar o dimensionamento da frota de caminhões para transporte da silagem.

AGRADECIMENTOS

À agência Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pela bolsa concedida para realização desta pesquisa. À Fazenda de Ensino, Pesquisa e Extensão – FEPE / UNESP Jaboticabal (pela área experimental e pelo apoio à pesquisa).

MATERIAL SUPLEMENTAR



Material Suplementar 1. Dados climatológicos safra de milho 2018/2019.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

American Association of Cereal Chemists – AACC (1976) Approved methods of the American Association of Cereal Chemists. 7.ed. St. Paul, 256p.

Agropecuária-Embrapa EBDP (1999) Sistema brasileiro de classificação de solos. Rio de Janeiro, Produção de Informação.

ASABE (American Society Of Agricultural Biological Engineers) (2011) ASABE EP 496 JUN11: Agricultural machinery management data. In: _____. ASABE Standards 2011: standards engineering practices data. St. Joseph, 6 p.

BCB (Banco Central do Brasil) (2019) Cotações de Fechamento Ptax4/ do DOLAR DOS EUA, Código da Moeda: 220, Símbolo da Moeda: USD, Tipo da Moeda: A, período de 30/01/2018 a 31/01/2018. Disponível em <https://www4.bcb.gov.br/pec/taxas/port/ptaxnpesq.asp?frame=1> Acesso em 27 de maio de 2020.

Bernardes TF, Do Rêgo AC (2014) Study on the practices of silage production and utilization on Brazilian dairy farms. J. Dairy Sci. 97, p. 1852-1861.

Bernardes TF, Weinberg Z. (2013). Aspectos Associados ao manejo da ensilagem. In: Reis, RA; Bernardes, TF; Siqueira, GR. Forragicultura: Ciência, Tecnologia e Gestão dos Recursos Forrageiros. (In Portuguese) Jaboticabal: Gráfica Multipress, n. 42, p. 671-680.

Carvalho IQ, Jobim CC (2013) Como reduzir as perdas de silagem. Inforleite, v. 35, n. 1, p. 44-47. Disponível em: <http://www.ensilagem.com.br/wp-content/uploads/2013/04/RevistaInforleite_35_reservas_OK.pdf>. Acesso em: 22 de janeiro de 2019.

D' Oliveira PS, Oliveira JS (2014) Produção de Silagem de Milho para Suplementação do Rebanho Leiteiro. Embrapa Gado de Leite. Comunicado Técnico, 74. Juiz de Fora-MG. 10p. Disponível em: <http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/991566> Acesso em 17 de fevereiro de 2021

Embrapa. (2021) Clima e solo. Embrapa Milho e Sorgo. Sistema de Produção, 1. 8ª edição. ISSN 1679-012X. Disponível em https://www.spo.cnptia.embrapa.br/conteudo?p_p_id=conteudoportlet_WAR_sistemasdeproducao16_1ga1ceportlet&p_p_lifecycle=0&p_p_state=normal&p_p_mode=view&p_p_col_id=column-1&p_p_col_count=1&p_r_p_-76293187_sistemaProducaoId=3821&p_r_p_-996514994_topicoId=3718 Acesso em 22 de fevereiro de 2021.

Fancelli AL, Dourado Neto D (2000) Produção de milho. Guaíba: Ed. Agropécuaária, 360 p.

Faria VP (1986) Técnicas para produção de silagem. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PASTAGENS, 8., 1986, Piracicaba. Anais... Piracicaba: FEALQ, p. 114-119.

Gomides GC (2013) Fatores determinantes na ensilagem de milho: da colheita à utilização. Escola de Veterinária e Zootecnia. Universidade Federal de Goiás. 31 f. Trabalho de Conclusão do Curso de Graduação em Zootecnia. UFG. Goiânia – GO.

Hunt D (2001) Farm power and machinery management. 10. ed. Ames: Iowa State University Press.

Instituto econômico agrícola (IEA) (2020) Previsões e Estimativas das Safras Agrícolas do Estado de São Paulo, Ano Agrícola 2019/20, junho de 2020. Disponível em: <http://www.iea.sp.gov.br/out/TerTexto.php?codTexto=14839> Acesso em: 18 de novembro de 2020.

Jobim CC, Branco AB, Santos GT (2003) Silagem de grãos úmidos na Alimentação de bovinos leiteiros. EMATER Goiânia – GO. Avaliação de produtividade e produção. Levantamento realizado em maio 2020. Safra de verão 2019/2020. p. 357-376. Disponível em: http://www.emater.tche.br/site/arquivos_pdf/safra/safraTabela_21052020.pdf Acesso em: 18 de novembro de 2020.

Krüger AM (2012) Massa específica e suas implicações na conservação e no valor nutricional em silagens de milho. Dissertação de Mestrado. Universidade Estadual de Maringá.

Mialhe LG (1996) Used farm equipment: test and certification. Piracicaba: CNPq-PADCT/TIB; FEALQ, p. 600 – 650.

Mialhe LG (1974) Manual de mecanização agrícola. São Paulo: Agronômica Ceres. 301 p.

Mialhe LG (1984) Máquinas para colher cereais. Piracicaba: ESALQ. 66 p.

Neumann M, Oliveira M, Zanette P, Ueno R, Marafon F, Souza M (2011) Aplicação de procedimentos técnicos na ensilagem do milho visando maior desempenho animal. In: IV SIMPÓSIO: PRODUÇÃO E UTILIZAÇÃO DE FORRAGENS CONSERVADAS, 4., 2011, Maringá. Anais... Maringá: Sthampa. p. 95-130.

Soil Survey Staff. 2006. Soil taxonomy: Keys to Soil Taxonomy. 10ed. US Department of Agriculture (USDA), Natural Resources Conservation Service (NRCS). Government Printing Office, Washington, DC, USA.

Srivastava AK, Goering CE, Rohrbach RP (1993) Engineering principles of agricultural machines. St. Joseph, Michigan: American Society of Agricultural Engineers, p. 601.

Velho JP, Mühlbach PRF, Genro TCM, Sanchez LMB, Nörnberg JL, Orqis MG, Falkenberg JR (2006) Alterações bromatológicas nas silagens de milho submetidas a crescentes tempos de exposição ao ar após "desensilagem". *Ciência Rural*, v. 36, n. 3, p. 916-923.

CAPÍTULO 4 – ANÁLISE MULTIVARIADA EM PERDAS NA COLHEITA MECANIZADA DE MILHO PARA SILAGEM COM ENSILADORA PROPELIDA

Resumo

As perdas de silagem durante a colheita mecanizada podem variar entre talhões de produtividades diferentes. Dessa forma, para aumentar a eficiência da colheita é preciso estudar o funcionamento da operação. Neste contexto, objetivou-se analisar as inter-relações entre as variáveis da colheita mecanizada de milho silagem (produtividade, velocidade do vento, velocidade da colhedora com as perdas de tamanho de partículas da silagem de milho e as perdas de colmos de milho pela altura do corte).e explicar essas variáveis em termos de suas dimensões inerentes comuns (fatores). O experimento foi realizado no município de Jaboticabal, SP, Brasil. Devido a existência de uma estrutura de dependência contida no conjunto de variáveis originais, realizou-se análise exploratória dos dados, utilizando a técnica de análise de componentes principais (ACP), variáveis da colheita e variáveis de perdas na colheita mecanizada da silagem. A ACP indicou que perdas de colmo e de partículas vegetais estão relacionadas com o aumento da velocidade de colheita e a produtividade. A velocidade do vento e a temperatura não apresentaram correlação com as perdas na colheita mecanizada de milho para silagem.

Palavras-chave: Análise exploratória; Análise por componentes principais; Forrageira; Forragem.

Abstract

Silage losses during mechanized harvesting can vary between plots of different yields. Thus, to increase harvest efficiency, it is necessary to study the operation of the operation. In this context, the objective was to analyze the interrelationships between the variables of the mechanized harvesting of corn silage (productivity, wind speed, harvester speed with the losses

of particle size of the corn silage and the losses of corn stalks by height and explain these variables in terms of their common inherent dimensions (factors). The experiment was carried out in the city of Jaboticabal, SP, Brazil. Due to the existence of a dependency structure contained in the set of original variables, an exploratory data analysis was performed, using the technique of principal component analysis (PCA), harvest variables and loss variables in mechanized silage harvesting. ACP indicated that losses of stalk and plant particles are related to increased harvest speed and productivity. Wind speed and temperature did not correlate with losses in mechanized corn harvesting for silage.

Keywords: Exploratory analysis; Principal components analysis; Harvester; Forage.

1. INTRODUÇÃO

Nos últimos 25 anos, a silagem de milho de planta inteira se tornou um alimento importante e popular para a produção de laticínios, desta feita, tal fator desencadeou uma série de pesquisas dedicadas ao desenvolvimento e avaliação de alternativas para aumentar o valor nutritivo da silagem de milho de planta inteira (Ferraretto et al., 2018).

No entanto, quanto a colheita mecanizada de silagem no Brasil, segundo estudo de Bernardes e Rêgo (2014), 90,4% dos agricultores avaliados, ainda utiliza a ensiladora tracionado como principal equipamento nas fazendas leiteiras.

As ensiladoras propelidas possuem suas vantagens como: alta capacidade de colheita por hora trabalhada, função que regula tamanho teórico de partículas, processador de grãos, além de não depender da direção em que as linhas foram instaladas, fatores que auxiliam no desempenho em campo e nutricionalmente para o animal (Bernardes e Weinberg, 2013).

Desde a colheita da silagem até o consumo pelos animais, as perdas são de 21 a 34% (Carvalho e Jobim, 2013). As perdas iniciais no processo de ensilagem ocorrem durante a

colheita e picagem, e estas têm sido variadas em função do dia, da cultura, do tratamento que a forragem sofre e do tipo de equipamento. Em observações de campo, a deriva de material picado que não alcança o transbordo, em função da velocidade do vento, tem colaboração com as perdas, principalmente durante o período do dia que mais venta (das 9 às 15 horas) (Bernardes e Weinberg, 2013).

Assim, apesar de se ter avanços em pesquisas sobre a qualidade da silagem de milho (D' Oliveira & Oliveira, 2014), há necessidade de estudos sobre a colheita mecanizada de silagem relacionada às condições operacionais dessas máquinas, regulagens dos mecanismos de recolhimento, picagem e transporte da máquina, influência da habilidade do operador, a fim de mitigar as perdas no processo de colheita mecanizada.

O monitoramento das perdas permite detectar e corrigir os erros que possam ocorrer durante o processo para que possam ser minimizados evitando a queda da produtividade (Bertonha et al., 2014), pois para o funcionamento de qualquer sistema de produção, deve se manter um processo contínuo de qualidade total, que pressupõe planejamento, organização e coordenação das atividades, objetivando promover a obtenção de altos rendimentos, com economia de recursos naturais renováveis e sem agredir o meio ambiente (Neumann et al., 2011).

A utilização de técnicas exploratórias multivariadas para controle de operações agrícolas mecanizadas é uma realidade, como uma ferramenta inovadora na estimativa de custos operacionais de máquinas agrícolas e florestais (Guerrieri et al., 2017).

Existem vários métodos de análise multivariada para verificar como as amostras se relacionam. Para esta avaliação, destaca-se o método da análise dos componentes principais (ACP), usado para definir aquelas que apresentam maior peso e importância do ponto de vista estatístico (Santi et al., 2012). A análise de componentes principais permite ao pesquisador

reorientar os dados de modo que as dimensões de maior influência expliquem o maior número possível de informação disponível, obtendo uma visualização dos dados mais direta e administrável (Lattin, Carroli e Green, 2011).

Assim, é possível que com um gerenciamento estratégico do processo de colheita mecanizada de silagem de milho, haja diminuição das perdas. No entanto, ainda não são conhecidos os maiores responsáveis pelas perdas na colheita, devido à escassez de estudos nessa área (Daniel et al., 2019).

Neste contexto, objetivou-se analisar as inter-relações entre as variáveis da colheita mecanizada de milho silagem (produtividade, velocidade do vento, velocidade da colhedora com as perdas de tamanho de partículas da silagem de milho e as perdas de colmos de milho pela altura do corte).e explicar essas variáveis em termos de suas dimensões inerentes comuns (fatores).

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1. Área experimental

O trabalho foi desenvolvido em duas áreas de produção, localizadas próximas as coordenadas geodésicas 21°23' latitude Sul e 48°28' longitude Oeste, no município de Jaboticabal-SP. A área 1 com altitude média de 618 metros, declividade 2,7 % e tamanho total da área experimental colhida de 7,12 ha (Figura 1). A área 2 com altitude média de 599 metros, declividade 2,3 % e tamanho total da área experimental colhida é de 7,85 ha. As áreas apresentam clima Aw de acordo com classificação de Köeppen. O solo é classificado como Oxisols (Soil Taxonomy, 2006) e relevo suave ondulado (EMBRAPA, 1999).

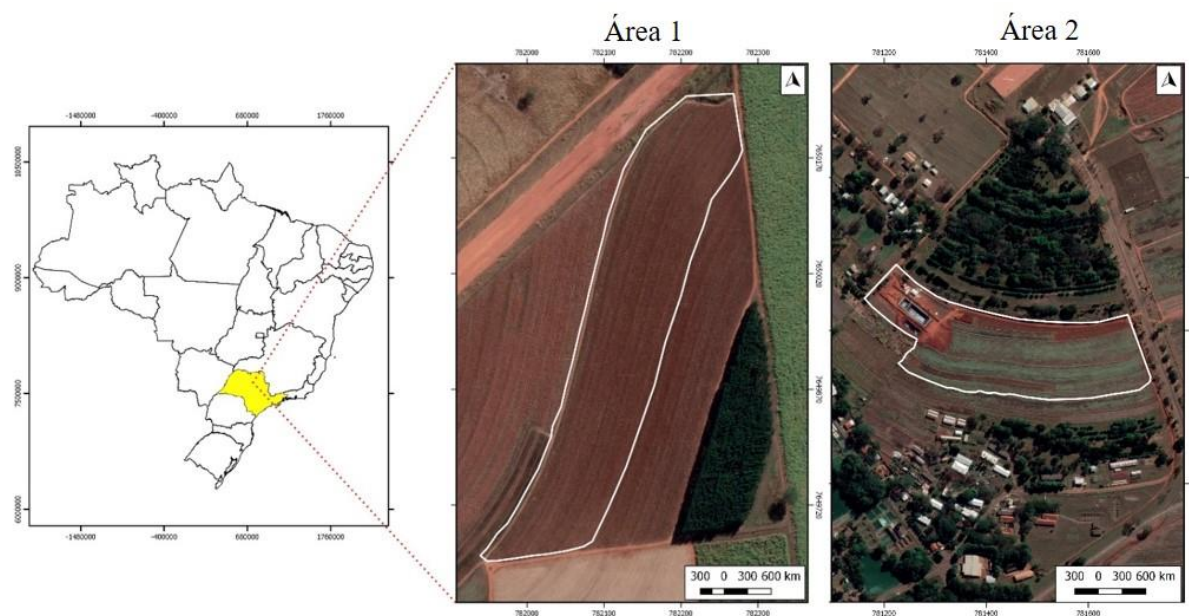


Figura 1. Áreas experimentais da Fazenda de Ensino, Pesquisa e Extensão (FEPE) da Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias de Jaboticabal (FCAV-UNESP).

A área 1 foi semeada dia 23 de outubro de 2018 e colhida aos 98 dias de maturação. A área 2 foi semeada dia 22 de outubro de 2018 e colhida aos 101 dias de maturação. Em ambas, utilizou-se o híbrido de milho P4285yhr, com espaçamento entre linhas de 0,45 metros com 3,5 sementes por metro, perfazendo uma população de 77.777,77 sementes ha^{-1} . Na adubação de semeadura foram utilizados 380 kg ha^{-1} da fórmula 04-28-8 NPK. Na adubação de cobertura foi feita a aplicação de 350 kg da fórmula 19-04-19 NPK em 22 de novembro de 2018.

Durante a safra, a temperatura média atingida foi de 25°C, sendo 37°C a máxima e 14°C a temperatura mínima. A radiação média foi 23,4 $\text{MJm}^2\text{dia}^{-1}$ e a precipitação média de 5,5 mm. Os dados climatológicos apresentaram-se dentro das condições ideais de desenvolvimento da cultura de acordo com Embrapa (2021) (Material Suplementar 1).

2.2. Caracterização da Produtividade

Para caracterização da área, as coletas das plantas de milho efetuaram-se dentro dos estádios fenológicos R4 e R5 (grão pastoso a farináceo), por meio da escolha aleatória de trinta pontos amostrais em área total a cada 100 metros, constituídos das plantas presentes em um metro quadrado. As amostras coletadas foram georreferenciadas, pesadas e separadas para obter o material fresco: da planta inteira, das plantas sem os grãos e dos grãos somente.

Posteriormente, as amostras da parte vegetativa e as amostras de grãos foram acondicionadas em sacos de papel, levados à estufa de circulação forçada de ar a 105°C até atingir massa constante (AACC, 1976) para obtenção da massa de matéria seca.

Logo após, transformou-se a média das massas frescas e secas obtidas da parcela em kg ha⁻¹. Separou-se parte das amostras de grãos para a determinação da umidade e peso de 100 grãos, a partir dessas análises foi obtido a massa verde e seca dos grãos e transformadas em kg ha⁻¹.

2.3. Equipamentos

Foi avaliada uma ensiladora autopropelida modelo FR500 da marca New Holland ® com plataforma de seis metros de largura e flutuação automática (Figura 2). O modo de gerenciamento de motor ECO possui dois ajustes, uma faixa elevada na qual a rotação do motor pode ser ajustada entre 2.100 e 1.950 rpm, ideal para capim de forração, e uma faixa baixa que varia de 1.850 e 1.700 rpm. Sistema de dois rolos com perfil de dentes de serra (mm). Capacidade de diesel 1.400 litros.



Figura 2. Ensiladora autopropelida FR500 da marca New Holland ®.

Para transporte da silagem até o silo, utilizaram-se cinco caminhões basculantes, com dimensões do transbordo de: 3,00 m de comprimento, 2,40 m de largura e altura de 1,60 m a partir do chassi, volume de 11,52 m³.

Em cada ponto amostral das análises de perdas mediu-se: a velocidade do vento com aparelho anemômetro de mão da marca B-Max ®. O georreferenciamento dos pontos amostrais foi feito por meio do aplicativo C7 GPS Dados Campeiro.

2.4. Análise de Perdas na colheita

A avaliação das perdas na colheita mecanizada de silagem de milho foi espacial, de forma que, foram coletadas amostras a cada 100 metros ao longo da linha de colheita, totalizando 34 amostras para cada área. Cada amostra, foi composta pelo material presente em uma armação de 6 metros de comprimento por 0,33 metros de largura, totalizando aproximadamente 2 m², conforme mostra o croqui na Figura 3.

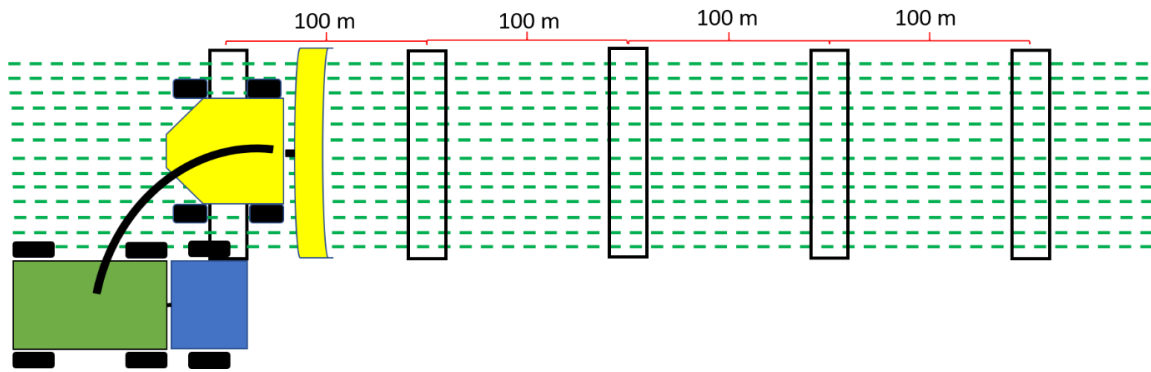


Figura 3. Croqui avaliação de perdas na colheita de silagem.

As áreas amostrais das perdas coletadas foram georreferenciadas, e para cada ponto amostral mediu-se também a velocidade da colhedora, a velocidade do vento e a temperatura no momento que a colhedora passava pelo ponto amostral.

O material foi coletado manualmente sobre a superfície do solo, e classificado em dois tipos de perdas: Perdas Vegetais (PV) - Material que não foi recolhido pela máquina (Figura 4A), somado com ao material colhido, processado (picado), porém não carregado no vagão (Figura 4B); Média da altura de corte dos colmos de milho (MAC) – Comprimento da altura do colmo remanescente medido com régua em centímetros; e Perdas de Colmo (MFC) - Colmo remanescente acima da altura de corte pré-definida em 30 cm de altura (perdas por altura de corte), medindo-se diretamente a diferença nos colmos remanescentes no campo (Figura 4C).



A

B

C

Figura 4. Perdas na colheita mecanizada de milho para silagem. Perdas Totais: (A) Material que não foi recolhido pela máquina, e (B) Material colhido, processado (picado), porém não carregado no vagão; e (C) Perdas na altura de corte dos colmos.

2.5. Análise do tamanho de partícula colhida

Para analisar e caracterizar o material colhido de cada colhedora testada, analisaram-se amostras de perdas vegetais (PV) separando pelo tamanho médio de partículas de maneira que o material foi pesado e passado na peneira Penn State restando tamanhos de perdas de partículas maiores que 19 mm (MF19); partículas menores que 19 mm e maiores que 8 mm (MF19-8), partículas menores que 8 mm e maiores que 4 mm (MF8-4); partículas menores que 4 mm (MF4); e assim estimado os valores da quantidade de perdas mediante cálculo do valor médio ponderal (Heinrichs e Kononoff, 1996). Após, realizou-se estimativa da porcentagem de perda por hectare para cada variável.

2.6. Delineamento experimental e Análise Estatística

O delineamento ocorreu em faixas para cada área, sendo as variáveis avaliadas: Porcentagem de perdas de partículas maiores que 19 mm (MF19) (%); porcentagem de perdas de partículas menores que 19 mm e maiores que 8mm (MF19-8) (%); porcentagem de perdas de partículas menores que 8 mm e porcentagem de perdas de partículas maiores que 4 mm (MF8-4) (%); porcentagem de perdas de partículas menores que 4 mm (MF4) (%); porcentagem de perdas de colmo (MFC) (%); porcentagem de perdas totais (PT) (%), altura média de corte dos colmos (MAC) (cm); velocidade do vento (VV) (km h⁻¹); velocidade da colhedora (VC) (km h⁻¹); temperatura (T) (°C); produtividade (Prod) (kg ha⁻¹); porcentagem de umidade (%); horário de colheita (Horas).

Para tanto, os dados de produtividade (Prod) correspondentes aos pontos amostrais coletados no GPS foram obtidos por meio da análise de dependência espacial analisada por meio da geoestatística, com estimativas de variogramas experimentais e ajustes de modelos permissíveis. Sobre a pressuposição da hipótese intrínseca, os variogramas foram estimados pela equação 1 (Burrough e McDonnel 2006):

$$\hat{\gamma}(h) = \frac{1}{2n} [Z(x+h) - Z(x)]^2 \quad (1)$$

Em que: N(h) significa o número de pares experimentais de observações Z (xi) e Z (xi + h) separados por uma distância h.

O variograma é representado pelo gráfico de $\hat{\gamma}(h)$ versus h. A partir do ajuste do modelo matemático aos valores de $\hat{\gamma}(h)$, foram estimados os parâmetros do modelo teórico dos variogramas (efeito pepita (C0), patamar, C0 + C1, e o alcance, a). Para verificar presença de anisotropia, foram calculados variogramas para as quatro direções (0, 45, 90 e 135°).

Os variogramas experimentais foram escolhidos com base no número de pares envolvidos no cálculo da variância, presença de patamar claramente definido, melhor

coeficiente de validação cruzada (um gráfico construído mostrando a relação entre valores reais e estimados) (Landim, 2006) e maior coeficiente de determinação R^2 . Em nenhuma das variáveis ficou evidente a anisotropia, assumindo variogramas isotrópicos.

Após o ajuste dos modelos matemáticos, realizou-se a interpolação dos dados, pela krigagem ordinária nos locais não amostrados. A análise geoestatística foi realizada no software GS+ e a edição dos mapas no software Surfer versão 9. Na ausência de dependência espacial, utilizou-se a interpolação pelo inverso da distância ao quadrado (IDW). As demais variáveis foram obtidas em campo.

Posteriormente, devido a existência de uma estrutura de dependência contida no conjunto de variáveis originais, realizou-se análise exploratória dos dados pelo software STATISTICA, versão 7.0 (Statistica, 2004), sendo as variáveis previamente padronizadas (distribuição normal, média = 0 e variância = 1).

A análise de componentes principais (ACP) utilizou as variáveis descritas acima e feito em três etapas: a primeira consiste na elaboração da matriz de correlação; a segunda na extração dos fatores comuns e na possível redução das variáveis explicativas e, por fim, na rotação dos eixos em relação aos fatores comuns, com o objetivo de tornar a solução mais simples e de fácil interpretação (Toledo e Nicolella, 2002).

A partir das variáveis calculou-se a correlação entre eles e elaborou-se as matrizes de variância e covariância para proceder à ACP. Esses componentes construíram-se pela combinação da correlação entre as variáveis, sendo extraídos em ordem decrescente de importância em termos de sua contribuição para a variação total dos dados (Silva et al., 2010).

Indicadores de qualidade que possuíam autovetores com peso $\geq 0,50$ (altamente significativo) (Coelho, 2003), submeteram-se à nova ACP, para ordenar as variáveis com maior carga fatorial (pontuação). Após esta etapa, foram selecionados os componentes principais com

autovalores maiores que 1 (um) e, dentro desses componentes, as variáveis que apresentaram escores superiores a 0,50, como sendo as que mais influenciam na colheita mecanizada do milho silagem.

Após esta última análise dos componentes principais, analisamos os fatores para essas variáveis (pontuação superior a 0,50), e os fatores extraídos dos componentes principais na tentativa de separar feixes de variáveis, aplicando uma rotação aos fatores pelo método Varimax raw. Segundo Reis (2001), Varimax raw é um método de rotação ortogonal, em que, para cada componente principal existem apenas alguns pesos significativos e todos os demais próximos de zero, ou seja, o objetivo é maximizar a variação entre os pesos de cada componente principal.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A produtividade média de milho para silagem (Tabela 1) para a área 1 se manteve na média esperada, enquanto a área 2 obteve produtividade maior que a média, a qual varia entre 37,05 e 25,5 toneladas por hectare (Jobim, 2020). A massa de grãos foi maior que a média nacional de 6,4 toneladas por hectare (IEA, 2020). Considerou-se o teor de matéria seca bom, pois cultivares que apresentam de 40 a 50% de grãos na MS do material ensilado proporcionam silagens de boa qualidade (Faria, 1986).

Tabela 1. Produtividade média das áreas da Fazenda de Ensino, Pesquisa e Extensão (FEPE) da Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias de Jaboticabal (FCAV-UNESP).

Áreas	Produtividade	Parte vegetativa	Grãos	Planta inteira
Área 1	Massa (kg ha ⁻¹)	27301.59	7730.159	35031.75
	Teor Matéria Seca (%)	49.35	52.87	50.13
Área 2	Massa (kg ha ⁻¹)	32362.71	9577.267	41939.97
	Teor Matéria Seca (%)	47.81	54.19	49.27

A tabela 2 apresenta os resultados obtidos de produtividade do milho silagem para os pontos amostrais de perdas georreferenciados. Esses valores foram estimados com a finalidade de correlacionar com as variáveis de perdas, da colhedora e do clima.

Tabela 2. Produtividade estimada por krigagem e IDW (na ausência de dependência espacial) nos pontos amostrais de perdas, áreas 1 e 2.

Área	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
A1	16000	17500	18500	18000	17500	17000	16000	18000	20000	18500
A2	26000	26000	22000	21000	24000	25000	26000	27000	21000	30000

Área	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
A1	13500	15500	16000	19000	18000	17000	15500	17000	18000	20000
A2	37000	25000	26000	26000	24000	20000	27000	26000	26000	26000

Área	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
A1	22000	21000	17500	16500	15000	14000	14000	15500	17000	19000
A2	27000	24000	23000	25000	25000	24000	29000	27000	27000	30000

Área	31	32	33	34
A1	21500	-	-	-
A2	23000	24000	24000	22000

A ACP resultou em três componentes principais, ou seja, aqueles que mais afetaram a colheita mecanizada de milho silagem, CP1, CP2, CP3, acumulando 70,8% das explicações das causas de variabilidade. Estes componentes foram escolhidos por meio da regra do *eigenvalue* ou autovalores (critério Varimax), proposto por Kaiser (1958), que sugere a extração dos fatores com valor de *eigenvalue* acima de 1 apenas. Isto porque, se o fator for menor, ele contribui pouco para explicar a variância nas variáveis originais.

Desta forma, para expressar os dados em uma estrutura bidimensional, os componentes foram separados em dois biplots apresentados na Figura 5 (CP1 vs. CP2) e na Figura 6 (CP1 vs. CP3).

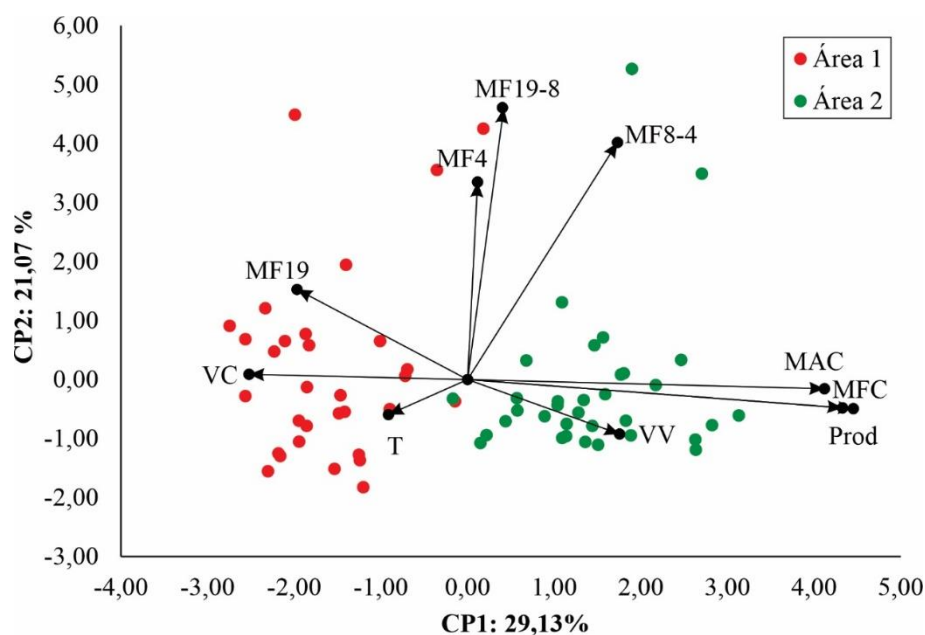


Figura 5. Biplot da Análise de componentes principais (ACP) para as áreas 1 e 2. Componente principal 1 (CP1) vs. Componente principal 2 (CP2).

Pela ACP foi possível observar que os dois primeiros componentes foram os que mais influenciaram a qualidade da operação, o que levou a construção do primeiro biplot, como demonstra a figura 5, sendo que o primeiro componente (CP1), explicou 29,13% da variabilidade e o segundo componente principal (CP2) apresentou 21,07 % da variabilidade para o processo de colheita mecanizada de milho para silagem. Ou seja, a quantidade da informação total das variáveis originais retida pelos dois componentes principais foi de 50,2%.

Observa-se que houve mais perdas de partículas maiores que 19 mm na área 1, sendo essas diretamente correlacionadas com a velocidade de colheita (VC). Em contrapartida, a área 2 obteve maiores valores de produtividade e maiores perdas de colmos e, consequentemente, maior média na altura de corte dos colmos. Nota-se, também, que a variável temperatura exerceu pouca influência nas áreas e no conjunto de variáveis.

O terceiro componente principal explica 12,23% e juntamente com o CP1 são responsáveis por 41,36% das informações, levando a construção do segundo biplot (Figura 6).

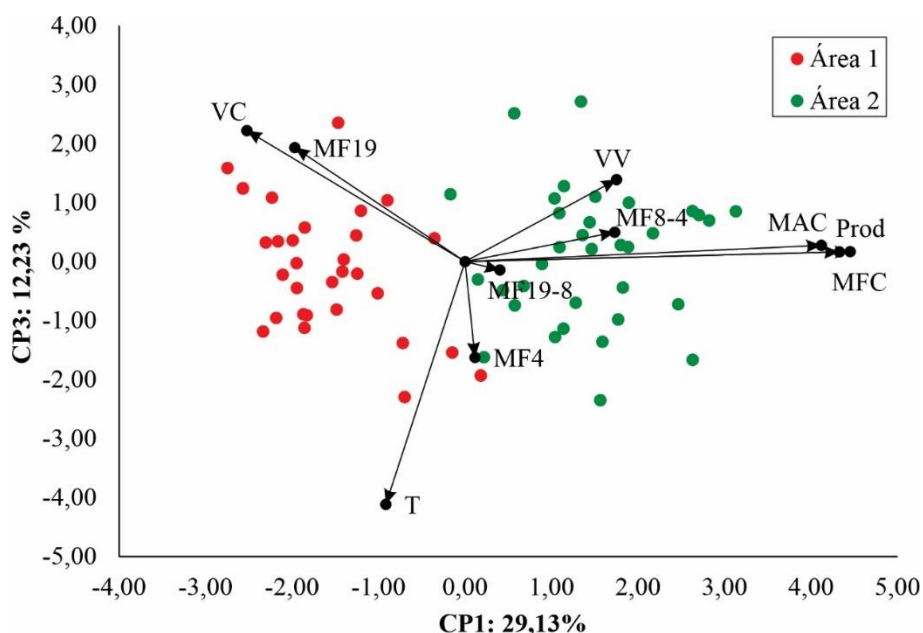


Figura 6. Biplot da Análise de componentes principais (ACP) para as áreas 1 e 2. Componente principal 1 (CP1) vs. Componente principal 3 (CP3).

Observa-se que a variável velocidade de colheita e as perdas de partículas maiores que 19 mm estão correlacionadas inversamente a produtividade (Prod). Assim, quanto maior a velocidade, maiores são as perdas vegetais de partículas maiores, as quais são acometidas principalmente quando a colhedora deixa parte material vegetal na área.

Com o aumento da velocidade de deslocamento de uma ensiladora, Garbuio et al. (2008) verificaram acréscimo de material retido nas peneiras 1 (>19mm) e 2 (entre 8 e 19 mm), pois segundo os autores o aumento da velocidade altera a taxa de alimentação da ensiladora, este acréscimo de material pode influenciar na fragmentação das plantas pelo fato de limitar o mecanismo de alimentação em executar sua função.

Na área 2, onde obteve-se maior produtividade, a colhedora apresentou altura de corte dos colmos maior resultando em maiores perdas de colmos. A maior quantidade de plantas ofereceu maior resistência ao corte influenciando na velocidade de colheita e na altura dos cortes. A resistência ao corte aumenta quanto mais baixo o corte da planta de milho, pois a

energia e a máxima força de corte são diretamente proporcionais à área da secção transversal do colmo e inversamente ao conteúdo de água (Prasad e Gupta, 1975).

Além dos fatores citados acima que podem ter contribuído com o aumento na altura do corte de colmos, ainda é possível a incidência de outros, como: regulação do operador devido ao tamanho da plataforma de colheita e as irregularidades do terreno e/ou devido à baixa umidade da parte inferior das plantas, para manter-se a qualidade da silagem.

Na Figura 7, os escores expressam a correlação entre as variáveis, sendo os maiores escores negativos do CP1 para as variáveis massa fresca de colmos, média da altura de corte dos colmos, produtividade e o maior escore positivo foi a velocidade da colhedora mostrando que estas foram correlacionadas, porém atuaram de forma contrária. Ou seja, à medida que a velocidade de colheita diminui, a altura de corte dos colmos aumenta, e, conseqüentemente, maiores são as perdas de MFC. Outra correlação que observamos é que a velocidade de colheita aumenta quando a produtividade diminui.

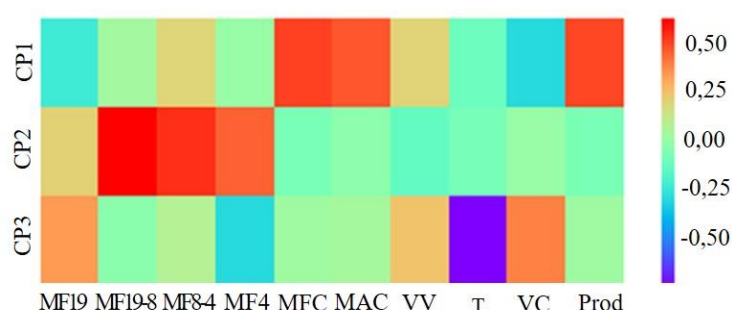


Figura 7. Gráfico de autovalores da análise de correlação das variáveis para CP1, 2 e 3. Variáveis: Perdas de partículas maiores que 19 mm (MF19); partículas menores que 19 mm e maiores que 8mm (MF19-8), partículas menores que 8 mm e maiores que 4 mm (MF8-4); partículas menores que 4 mm (MF4); perdas de colmo (MFC); Altura média de corte dos colmos (MAC); velocidade do vento (VV); velocidade da colhedora (VC); temperatura (T); produtividade (Prod).

Variáveis	CP1	CP2	CP3
MF19	0,438937	0,216628	0,397238
MF19-8	0,050523	0,923423	0,043096

MF8-4	-0,227209	0,834071	0,168782
MF4	0,067204	0,690264	-0,272854
MFC	-0,894857	0,025180	0,049493
MAC	-0,819200	0,080520	0,073842
VV	-0,368734	-0,154224	0,272173
T	0,151321	-0,077923	-0,834899
VC	0,508525	-0,087850	0,430190
Prod	-0,869565	0,024502	0,048410
Expl.Var	2,896818	2,117069	1,229035
Prp.Totl	0,289682	0,211707	0,122903

As cargas expressivas nos componentes principais (CP) estão em negrito (Carga $\geq |0,5|$).

Tabela 3. Autovalores da análise de correlação das variáveis para CP1, 2 e 3. Variáveis: Perdas de partículas maiores que 19 mm (MF19); partículas menores que 19 mm e maiores que 8mm (MF19-8), partículas menores que 8 mm e maiores que 4 mm (MF8-4); partículas menores que 4 mm (MF4); perdas de colmo (MFC); Altura média de corte dos colmos (MAC); velocidade do vento (VV); velocidade da colhedora (VC); temperatura (T); produtividade (Prod); aplicando uma rotação aos fatores pelo método Varimax raw.

Em relação a velocidade de colheita, pressupõe-se que esta estava muito baixa na área 2, fato que pode ter aumentado o nível de perdas de colmos durante a colheita. No entanto, se o aumento da velocidade de colheita diminui as perdas vegetais (folhas, colmos, espiga e grãos) e por outro aumenta as perdas na altura de corte, esta seria favorável. Pois, com as perdas de partes vegetais, a parte fibrosa da planta e menos digestível diminuem. Além disso, os colmos deixados no solo serão utilizados como cobertura e matéria orgânica.

Segundo Nussio et al. (2001), plantas colhidas em altura mais elevada devem contribuir não somente para aumentar a reciclagem da matéria orgânica no solo, mas também para retornar grandes quantidades de potássio (K) que se encontram nos internódios inferiores da planta.

Ainda, no tocante a velocidade de colheita, ainda que o retorno econômico por tonelada não seja grande com o aumento da altura de corte (Nussio et al., 2001), este seria recompensado por menores perdas vegetais e melhor desempenho da colhedora.

Analisando os maiores escores para CP2 observa-se que as variáveis de perdas na colheita de silagem do tamanho de partículas 8 a 19 mm, 4 a 8 mm e menor que 4 mm apresentaram uma correlação direta. O CP3 foi determinado pela única variável temperatura (T).

As perdas na colheita de silagem, em funções dos escores positivos, apresentaram valores elevados para a operação, o que, conseqüentemente, acarreta menor quantidade de grãos colhidos, podendo refletir em diminuição da produtividade de colheita e qualidade da silagem.

A qualidade da colheita depende do conhecimento e capacidade de trabalho do operador e do estado de conservação da máquina, bem como de saber operar com velocidades adequadas ao estado da lavoura e da própria máquina, realizando ajustes ao longo do dia, de acordo com as condições de temperatura, umidade e manutenções necessárias (Oliveira et al., 2014).

Assim sendo, a análise de componentes principais mostra um método eficiente para detecção de qual ou de quais variáveis estão influenciando na colheita mecanizada de milho para silagem de forma positiva ou negativa.

4. CONCLUSÕES

A análise de componentes principais indicou que perdas de colmo e de partículas vegetais estão relacionadas com a velocidade de colheita e a produtividade. A velocidade do vento e a temperatura não tiveram correlação com as perdas na colheita mecanizada de milho para silagem.

AGRADECIMENTOS

À agência Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pela bolsa concedida para realização desta pesquisa. À Fazenda de Ensino, Pesquisa e Extensão – FEPE / UNESP Jaboticabal (pela área experimental e pelo apoio à pesquisa).

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- American Association of Cereal Chemists - AACC. Approved methods of the American Association of Cereal Chemists. 7.ed. St. Paul: 1976. 256p.
- Agropecuária-Embrapa, E. B. D. P. (1999). Sistema brasileiro de classificação de solos. Rio de Janeiro, Produção de Informação. (In Portuguese, with English abstract.)
- BCB (Banco Central do Brasil) (2019). Cotações de Fechamento Ptax4/ do DOLAR DOS EUA, Código da Moeda: 220, Símbolo da Moeda: USD, Tipo da Moeda: A, período de 30/01/2018 a 31/01/2018. Disponível em <https://www4.bcb.gov.br/pec/taxas/port/ptaxnpesq.asp?frame=1> Acessado em 27 de maio de 2020.
- Bernardes TF, Do Rêgo AC (2014) Study on the practices of silage production and utilization on Brazilian dairy farms. J. Dairy Sci. 97, p. 1852-1861.
- Bernardes TF, Weinberg Z. (2013). Aspectos Associados ao manejo da ensilagem. In: Reis, RA; Bernardes, TF; Siqueira, GR. Forragicultura: Ciência, Tecnologia e Gestão dos Recursos Forrageiros. Jaboticabal: Gráfica Multipress, n. 42, p. 671-680.
- Bertonha RS, Silva RP, Furlani CEA, Nascimento JM, Cavichioli FA (2014) Perdas e teor de água das vagens no arranquio mecanizado de amendoim. Energia na Agricultura 29 (1): 167-173.
- Burrough PA, McDonnell RA (2006). Principles of geographical systems. New York: Oxford University Press.
- Carvalho IQ, Jobim CC (2013) Como reduzir as perdas de silagem. Inforleite, v. 35, n. 1, p. 44-47. Disponível em: http://www.ensilagem.com.br/wp-content/uploads/2013/04/RevistaInforleite_35_reservas_OK.pdf. Acesso em: 22 de janeiro de 2019.

Coelho AM (2003) Agricultura de precisão: manejo da variabilidade espacial e temporal dos solos e das culturas. *Sociedade Brasileira de Ciência do Solo* 3:259-290.

Kaiser HF (1958) The varimax criterion for analytic in factor analysis. *Psychometrika*, 23: 187-200.

D' Oliveira PS, Oliveira JS (2014) Produção de Silagem de Milho para Suplementação do Rebanho Leiteiro. Embrapa Gado de Leite. Comunicado Técnico, 74. Juiz de Fora-MG. 10p. Disponível em: <http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/991566> Acesso em 17 de fevereiro de 2021

Embrapa (2021) Clima e solo. Embrapa Milho e Sorgo. Sistema de Produção, 1. 8ª edição. ISSN 1679-012X. Disponível em https://www.spo.cnptia.embrapa.br/conteudo?p_p_id=conteudoportlet_WAR_sistemasdeproducao161ga1ceportlet&p_p_lifecycle=0&p_p_state=normal&p_p_mode=view&p_p_col_id=column-1&p_p_col_count=1&p_r_p_-76293187_sistemaProducaoId=3821&p_r_p_-996514994_topicoId=3718 Acesso em 22 de fevereiro de 2021.

Faria VP (1986) Técnicas para produção de silagem. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PASTAGENS, 8., 1986, Piracicaba. Anais... Piracicaba: FEALQ, p. 114-119.

Garbuio PW, Neto PHW, Leão K, Dalalibera HC, Souza NM (2008b) Regulagens e velocidades de uma colhedora de forragem na ensilagem de sorgo (*Sorghum bicolor* L. Moench). *Current Agricultural Science and Technology*, v. 14, n. 2.

Guerrieri M, Fedrizzi M, Antonucci F, Pallottino F, Sperandio G, Pagano M, Figorilli S, Menesatti P, Costa C (2017) An innovative multivariate tool for fuel consumption and costs estimation of agricultural operations. *Spanish Journal of Agricultural Research* 14(4):209.

Instituto econômico agrícola (IEA) (2020) Previsões e Estimativas das Safras Agrícolas do Estado de São Paulo, Ano Agrícola 2019/20, junho de 2020. Disponível em:

<http://www.iea.sp.gov.br/out/TerTexto.php?codTexto=14839> Acesso em: 18 de novembro de 2020.

Jobim CC, Branco AB, Santos GT (2003) Silagem de grãos úmidos na Alimentação de bovinos leiteiros. EMATER Goiânia – GO. Avaliação de produtividade e produção. Levantamento realizado em maio 2020. Safra de verão 2019/2020. p. 357-376. Disponível em: http://www.emater.tche.br/site/arquivos_pdf/safra/safraTabela_21052020.pdf Acesso em: 18 de novembro de 2020.

Krüger AM (2012) Massa específica e suas implicações na conservação e no valor nutricional em silagens de milho. Dissertação de Mestrado. Universidade Estadual de Maringá.

Landim PMB (2006) Sobre geoestatística e mapas. Terra e didática, 2(1): 19-33.

Lima FB, Da Silva MA, Silva RP (2017) Quality of mechanical soybean harvesting at two travel speeds. Engenharia Agrícola, 37(6): 1171-1182.

Mialhe LG (1984) Máquinas para colher cereais. Piracicaba: ESALQ. 66 p.

Neumann M, Oliveira M, Zanette P, Ueno R, Marafon F, Souza M (2011) Aplicação de procedimentos técnicos na ensilagem do milho visando maior desempenho animal. In: IV SIMPÓSIO: PRODUÇÃO E UTILIZAÇÃO DE FORRAGENS CONSERVADAS, 4., 2011, Maringá. Anais... Maringá: Sthampa. p. 95-130.

New Holland. n.d. NEW HOLLAND FR FORAGE CRUISER FR 500 | FR 600 (2021) Disponível em: <https://assets.cnhindustrial.com/nhag/lar/pt-br/Documents/newholland-agriculture-enfardadora-FR500-FR600.pdf> Acessado em 23 de fevereiro de 2021.

Nussio LG, Campos FP, Dias FN (2001) Importância da qualidade da porção vegetativa no valor alimentício da silagem de milho. In: SIMPÓSIO SOBRE PRODUÇÃO E UTILIZAÇÃO DE FORRAGENS CONSERVADAS, 1., Maringá, 2001. Anais...Maringá: Universidade Estadual de Maringá, p. 127-145.

Oliveira TC, Figueiredo ZN, Neves LG, Favare HG (2014) Quantitative losses on the mechanized harvesting of soy in the region of Cáceres, Mato Grosso. *Applied Research & Agrotechnology* 7(2):91-96.

Prasad J, Gupta CP (1975) Mechanical properties of maize stalk as related to harvesting. *Journal of Agriculture Engineering Research*. London, v. 20, p. 79-87.

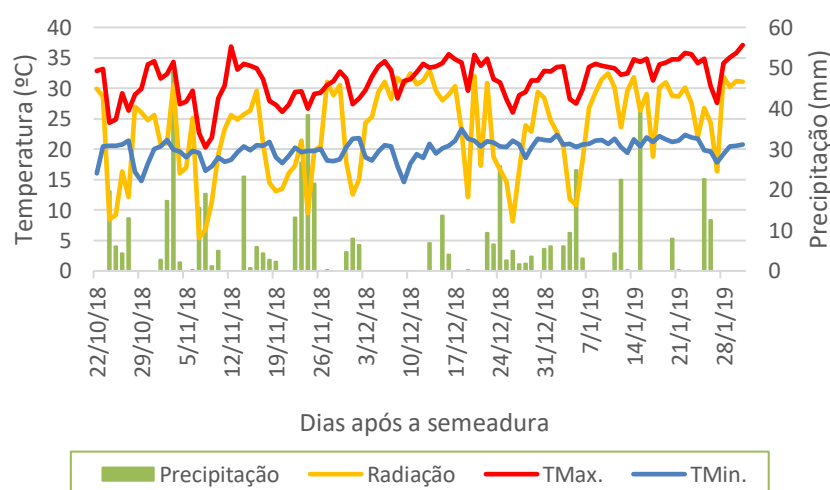
Silva SA, Lima JSS, Xavier AC, Teixeira MM (2010) Variabilidade espacial de atributos químicos de um Latossolo Vermelho-Amarelo húmico cultivado com café. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 34(1):15-22.

Soil Survey Staff (2006) *Soil taxonomy: Keys to Soil Taxonomy*. 10ed. US Department of Agriculture (USDA), Natural Resources Conservation Service (NRCS). Government Printing Office, Washington, DC, USA.

Data Analysis Software System (STATISTICA). 2004. StatSoft, Inc., version 7.061.0.

Toledo LG, Nicolella G (2002) Índice de qualidade de água em microbacia sob uso agrícola e urbano. *Scientia Agricola*, 59: 181-186.

MATERIAL SUPLEMENTAR



Material Suplementar 1. Dados climatológicos safra de milho 2018/2019.

CAPÍTULO 5 – CONSIDERAÇÕES FINAIS

As metodologias utilizadas para avaliação das perdas na colheita de silagem de milho ainda são novas e necessitam de aperfeiçoamento, no entanto, este estudo apresentou caminhos para o aperfeiçoamento das técnicas, sendo possível identificar falhas na operação e otimizar a colheita minimizando as perdas ocorridas durante a colheita de silagem de milho.

A semeadura influenciou negativamente na colheita com ensiladoras montadas na SHTP, pois as plantas eram derrubadas com frequência, aumentando substancialmente as perdas na colheita. Já, no tocante a colhedora autopropelida, constatou-se que as falhas da semeadura não prejudicaram de forma considerável a colheita em relação as ensiladoras montadas na SHTP. Assim, para melhorar a eficiência de colheita é necessária uma semeadura bem-feita, ou seja, com espaçamentos entrelinhas corretas, sem sobreposição, e planejamento da colheita com antecedência, sistematização dos talhões para evitar áreas com manobras de cabeceira.

Colhedoras forrageiras autopropelidas com telemetria são importantes, e tem um potencial a ser explorado. Neste estudo, a forrageira não possuía GPS ou sensores habilitados, por isso as variáveis foram avaliadas manualmente, o que demandou muitas pessoas para a coleta dos dados, quais sejam: umidade da cultura, produtividade por área, perdas do material colhido, que são uteis para as análises e decisões durante a colheita.

As recomendações técnicas para produzir silagem de milho devem ser seguidas com rigor, pois o custo por tonelada de matéria seca produzida é proporcional à quantidade de perdas no processo, ou seja, quanto maiores as perdas na ensilagem, maior o custo por tonelada de silagem.

Assim, a escolha da ensiladora dependerá da estratégia de colheita que se deseja adotar e do quanto se pretende gastar. Além disso, é necessário considerar a disponibilidade da ensiladora, economia e praticidade.

Vale ressaltar que não há diferença considerável no tamanho de partícula se comparado uma colhedora autopropelida a uma montada no SHTP do trator bem ajustada.

Diante destas informações, é possível fazer melhor levantamento de colhedoras e transbordos para sua produção de silagem de milho, além de obter melhor eficiência com seu desempenho.